

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

JAPANESE

1 / 1

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-313250

(43)Date of publication of application : 09.11.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G02B 19/00

G03F 7/22

(21)Application number : 2001-038326

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 15.02.2001

(72)Inventor : NISHINAGA HISASHI

(30)Priority

Priority number : 2000049740

Priority date : 25.02.2000

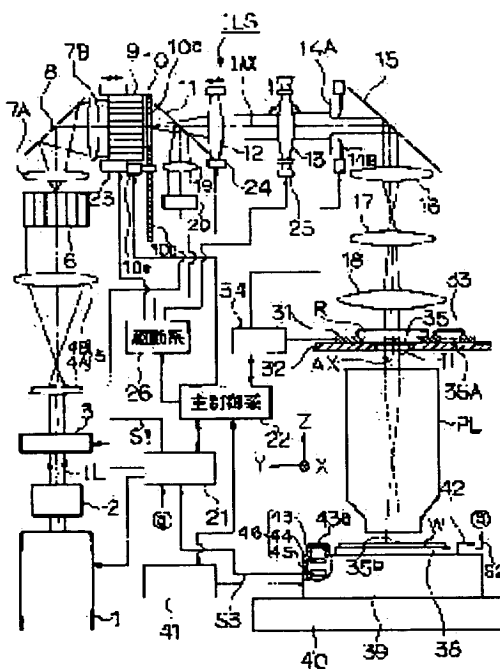
Priority country : JP

## (54) ALIGNER, ITS ADJUSTING METHOD, AND METHOD FOR FABRICATING DEVICE USING ALIGNER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an aligner in which an illumination optical system can be adjusted accurately in a short time.

SOLUTION: A reticle R is irradiated with an exposing light IL from an exposing light source 1 through an illumination optical system ILS comprising a first fly eye lens 6, a second fly eye lens 9, lens systems 12, 13 blinds 14A, 14B, and condenser lens systems 17, 18 and the pattern image of the reticle R is projected onto a wafer W through a projection optical system PL. Specific illumination characteristics are measured using an evaluation mark plate 33 on a reticle stage 31, and a spatial image measuring system 46 provided on a wafer state 39 and then the state of the second fly eye lens 9 and the lens systems 12, 13 is adjusted through drive units 23, 24 and 25 based on the measurements.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] In the aligner which is equipped with the illumination system which illuminates the 1st body with an exposure beam, and exposes the 2nd body through said 1st body with said exposure beam in order to be arranged in said illumination system, for said two or more lighting conditions to resemble the lighting condition switch system which switches the lighting conditions of said exposure beam to any of two or more lighting conditions they are, respectively, to respond and to control the predetermined lighting property of said illumination system The aligner characterized by preparing the adjustment system which adjusts the condition of the predetermined optical member in said illumination system.

[Claim 2] Said lighting property is an aligner of the illuminance unevenness of said exposure beam, and the amount of collapse of the tele cent rucksack nature of said exposure beam according to claim 1 which comes out on the other hand at least, and is characterized by a certain thing.

[Claim 3] Said lighting property is an aligner according to claim 2 characterized by being the inclination component and scale-factor component of the amount of collapse of said exposure beam at the inclination component of the illuminance unevenness of said exposure beam and a concavo-convex component, and a list. [ of tele cent rucksack nature ]

[Claim 4] Claims 1 and 2 characterized by having the property measurement system which measures said lighting property of said illumination system, and the operation control system memorized in quest of the relation between the amount of drives of said adjustment system, and the variation of said lighting property based on the measurement result of this property measurement system, or an aligner given in 3.

[Claim 5] The aligner characterized by to prepare the property measurement system which measures the predetermined lighting property of said illumination system, and the adjustment system which adjusts the condition of the predetermined optical member in said illumination system according to the measurement result of this property measurement system in the aligner which is equipped with the illumination system which illuminates the 1st body with an exposure beam, and exposes the 2nd body through said 1st body with said exposure beam.

[Claim 6] It is an aligner given in any 1 term of claims 1-5 which said illumination system has an optical integrator and are characterized by said adjustment system adjusting the location of the direction of an optical axis of said optical integrator.

[Claim 7] Said illumination system said exposure beam which passed said optical integrator The irradiated plane of said 1st body, It has further the 1st optical system led to this and a field [ \*\*\*\* ], and the 2nd optical system. Or said adjustment system The aligner according to claim 6 characterized by adjusting the location and tilt angle of a direction perpendicular to the optical axis of said 2nd optical system at the location of the direction of an optical axis of said optical integrator, the location of the direction of an optical axis of said 1st optical system, and a list.

[Claim 8] An optical element for said illumination system to set the illumination distribution of said exposure beam as the local field for deformation lighting, It has the condensing optical system which draws the exposure beam from this optical element, and an optical integrator for equalizing the illuminance distribution of the exposure beam from this condensing optical system. Said adjustment system An aligner given in any 1 term of claims 1-7 characterized by adjusting the condition of the optical member which constitutes said condensing optical system.

[Claim 9] Said illumination system is an aligner according to claim 8 characterized by adjusting the condition of said beam shaping optical system by said adjustment system so that it may have the beam shaping optical system which fabricates the exposure beam from the exposure light source, and is led to said optical element and the magnitude of the illuminance of said exposure beam and the magnitude of

dispersion in the illuminance distribution of said exposure beam can be balanced.

[Claim 10] The aligner characterized by dividing the amount of collapse of the telecentric nature of said exposure beam in said illumination system into an inclination component and a scale-factor component, and measuring it in the aligner which is equipped with the illumination system which illuminates the 1st body with an exposure beam, and exposes the 2nd body through said 1st body with said exposure beam.

[Claim 11] The aligner according to claim 10 characterized by dividing the illuminance unevenness of said exposure beam by said illumination system into an inclination component and a concavo-convex component, and measuring it.

[Claim 12] the [ in which said 1st body is laid ] -- the [ in which 1 movable object and said 2nd body are laid ] -- 2 movable objects -- having -- the [ said / the 1st and ] -- an aligner given in any 1 term of claims 1-11 characterized by having further the drive system which carries out the synchronous drive of the 2 movable objects, and carrying out scan exposure of said 2nd body with said exposure beam through said 1st body.

[Claim 13] The aligner according to claim 12 characterized by measuring the inclination component of the illuminance unevenness about the non-scanning direction which intersects perpendicularly with the scanning direction where said exposure beam is detected on the predetermined side where said 2nd body is arranged, and said 1st and 2nd bodies are moved in the exposure field of said exposure beam at the time of said scan exposure.

[Claim 14] The aligner according to claim 13 characterized by determining the concavo-convex component of said illuminance unevenness, and the inclination component about said non-scanning direction based on the cumulative size distribution about said non-scanning direction which integrates an illuminance or the quantity of light and is acquired about said scanning direction in the exposure field of said exposure beam.

[Claim 15] the [ said ] -- claims 12 and 13 characterized by detecting the exposure beam irradiated by the mark prepared on 1 movable object in addition to said 1st body, and measuring the amount of collapse, or an aligner given in 14.

[Claim 16] In the adjustment approach of the aligner which irradiates the exposure beam which passes along an illumination system at the 1st body, and exposes the 2nd body with said exposure beam through said 1st body While measuring the lighting property which detects said exposure beam on the predetermined side where said 2nd body is arranged, and contains at least one side of the telecentricity of said illumination system, and distribution of the illuminance in the exposure field of said exposure beam, or the quantity of light The adjustment approach of the aligner characterized by driving said optical member based on said updated lighting property while updating said measured lighting property by count until it drives the optical member within said illumination system based on said measured lighting property and measures said lighting property next.

[Claim 17] the [ in which said 1st body is laid ] -- the [ in which 1 movable object and said 2nd body are laid ] -- 2 movable objects -- a synchronous drive -- carrying out -- said 1st body -- moving -- said exposure beam -- said 2nd body -- scan exposure -- carrying out -- the [ said ] -- the adjustment approach of the aligner according to claim 16 characterized by to measure said lighting property using the mark prepared in addition to said 1st body on 1 movable object.

[Claim 18] The adjustment approach of the aligner according to claim 17 characterized by measuring the inclination component of the illuminance unevenness about the non-scanning direction which intersects perpendicularly with the scanning direction where said exposure beam is detected on the predetermined side where said 2nd body is arranged, and said 1st and 2nd bodies are moved in the exposure field of said exposure beam at the time of said scan exposure.

[Claim 19] In the adjustment approach of the aligner which is equipped with the illumination system which illuminates the 1st body with an exposure beam, and exposes the 2nd body through said 1st body with said exposure beam Set the condition of the predetermined optical member in said illumination system as two or more conditions, and the predetermined lighting property of said illumination system is measured, respectively. The adjustment approach of the aligner characterized by driving said optical member in order to memorize in quest of the relation between the amount of drives of said optical member, and the variation of said lighting property and to control said lighting property based on the memorized this relation based on this measurement result.

[Claim 20] the adjustment approach of the aligner according to claim 19 characterized by to set it as the optimal location to the lighting conditions after switching the location of said optical member when the switch of the lighting conditions of said illumination system enables them to be [ any of two or more lighting conditions ], and two or more of said lighting conditions are alike, respectively, it receives, it memorizes in

quest of the optimal location of said optical member and the lighting conditions of said illumination system are switched.

[Claim 21] The device manufacture approach including the process which imprints a device pattern on a work piece using the aligner of a publication in any 1 term of claims 1-15.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the aligner equipped with the function to adjust especially an illumination system automatically, about the aligner used in order to imprint a mask pattern on a substrate through projection optics at the lithography process for manufacturing a semiconductor device, a liquid crystal display component, a plasma display component, or the thin film magnetic head, and the adjustment approach of this aligner.

[0002]

[Description of the Prior Art] Since it corresponds to improvement the degree of integration of a semiconductor device, and whenever detailed, in the aligner which bears the lithography process (it consists of a resist spreading process, an exposure process, and a resist development process typically) for manufacturing a semiconductor device, it is required that resolution, imprint fidelity, etc. should be raised more. Thus, in order to raise resolving power and imprint fidelity, while turning the wavelength of the exposure light as an exposure beam short wave length and using projection optics with large numerical aperture, it is necessary to perform light exposure control for exposing the photoresist applied on the wafer as a substrate with proper light exposure with high precision. And in order to pull out the image formation property of the projection optics to a limitation and to perform light exposure control of a photoresist with high precision, it is necessary to optimize the illumination-light study system so that the lighting property of the illumination-light study system which illuminates the reticle as a mask with exposure light may be raised as much as possible.

[0003] Adjustment for optimizing the illumination-light study system of an aligner was conventionally performed at the following processes.

(b) An operator measures the lighting property for [ of an illumination-light study system ] adjustment (for example, illuminance unevenness).

(b) Adjust the conditions (a location or tilt angle) of a predetermined optical member using the drive unit corresponding to the lighting property based on the measurement result. By correcting an optical design value based on experience of an operator, the amount of drives in this case is set up so that that lighting property may be improved as much as possible.

[0004] (c) After the adjustment, in case the amount in which the lighting property remains is re-measured and the amount which remains exceeds tolerance, readjust through the drive unit.

(d) Memorize the final condition (optimal condition) of the optical member after completion of the adjustment.

And in each of two or more lighting conditions, when a condition with the optimal optical member which repeats the above-mentioned adjustment process for every lighting property for adjustment, and corresponds was memorized and lighting conditions were switched, the corresponding optical member was set as the respectively optimal condition.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Adjustment for optimizing the illumination-light study system of the conventional aligner was performed by the operator like the above at the time of rigging of an aligner, and a maintenance etc. However, when an operator adjusts, there is un-arranging [ that adjustment takes long time amount ]. Furthermore, since it was necessary to adjust an illumination-light study system about two or more lighting conditions of all, respectively, the whole adjustment time amount was quite long. Moreover, since the time amount which optimization takes was influenced by an operator's level of skill, it also had a possibility that adjustment time amount might become long further for some operators.

[0006] Moreover, since it was necessary to take into consideration the effect of mutual accompanying adjustment etc. when the condition of two or more optical members in an illumination-light study system needs to be adjusted, the adjustment process was very complicated. Thus, it was difficult for adjustment of the conventional illumination-light study system to perform employment to which the permissible level of a predetermined lighting property is changed according to the precision prescribe of the device which required the complicated process of long duration, and which is sake [ a device ] for example, manufactured etc. Moreover, although the illuminance unevenness in a lighting property etc. may change with the cloudiness of the optical member in an illumination-light study system, degradation of \*\* material, etc. with time, it was difficult to correspond promptly by the conventional adjustment approach also in such a case, for example.

[0007] This invention sets it as the 1st purpose to offer the aligner which can adjust an illumination-light study system in a short time correctly in view of this point. Furthermore, this invention sets it as the 2nd purpose to offer the aligner which can adjust substantially the illumination-light study system which can be switched to two or more lighting conditions automatically.

[0008] Furthermore, this invention aims also at offering the efficient operation of such an aligner, and the highly precise device manufacture approach using the aligner.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In the aligner which the 1st aligner by this invention is equipped with the illumination system (ILS) which illuminates the 1st body (R) with an exposure beam, and exposes the 2nd body (W) through the 1st body with the exposure beam The lighting condition switch system which is arranged in the illumination system and switches the lighting conditions of the exposure beam to any of two or more lighting conditions they are (10 10e), in order two or more of the lighting conditions are alike, respectively, and to respond and to control the predetermined lighting property of the illumination system, the adjustment system (23, 24, 25) which adjusts the condition of the predetermined optical member in the illumination system (9, 12, 13) is prepared.

[0010] According to this this invention, when lighting conditions are switched by the lighting condition switch system, according to the lighting conditions after a switch, the conditions (the location of the direction of an optical axis, the location of a direction perpendicular to an optical axis, tilt angle, etc.) of the optical member are adjusted through the adjustment system. The predetermined lighting property of an illumination system is automatically controllable by this in the desired condition respectively substantially to two or more lighting conditions.

[0011] In this case, an example of the predetermined lighting property for [ that ] evaluation is either [ at least ] the illuminance unevenness of that exposure beam, or the amount of collapse of the tele cent rucksack nature of that exposure beam. These are very important properties, in order to obtain high resolution on [ both ] the 2nd body. Furthermore, it is desirable to use the lighting property for [ the ] evaluation as the inclination component (two-dimensional vector quantity) and scale-factor component of the amount of collapse of the exposure beam at the inclination component of the illuminance unevenness of the exposure beam and a concavo-convex component, and a list. [ of tele cent rucksack nature ] Since the component of these five lighting properties can be controlled easy almost independently by driving two or more optical members in that illumination system mutually-independent, it is easily automatable especially.

[0012] In addition, the amount of collapse of the tele cent rucksack nature of an exposure beam is the telecentricity of an illumination system (or illumination-light study system) here. Moreover, it is desirable to have the property measurement system (33, 46, 42) which measures that lighting property of that illumination system, and the operation control system (22) memorized in quest of the relation of the amount of drives and the variation of a lighting property of that adjustment system based on the measurement result of this property measurement system. When the lighting property changes with time, measure the lighting property, for example by the property measurement system periodically. or the relation memorized previously is updated by count (simulation) -- or both -- using together (that is, the above-mentioned relation being updated by count between measurement of a periodical lighting property) -- By driving the adjustment system based on this, the lighting property can be quickly returned to a desired condition.

[0013] Next, the 2nd aligner of this invention is equipped with the illumination system (ILS) which illuminates the 1st body (R) with an exposure beam, and sets it to the aligner which exposes the 2nd body (W) through the 1st body with the exposure beam. The property measurement system (33, 46, 42) which measures the predetermined lighting property of that illumination system, and the adjustment system (23, 24, 25) which adjusts the condition of the predetermined optical member in that illumination system according to the measurement result of this property measurement system are prepared.

[0014] According to this invention, the illumination system can be correctly adjusted in a short time by driving the adjustment system based on the measurement result of the property measurement system equipped with the space image measurement system etc., for example. In these inventions the illumination system An optical integrator (9), and (a YUNIFO mizer or a homogenizer), The exposure beam which passed the optical integrator The irradiated plane of the 1st body, Or when it has the 1st optical system (12) led to this and a field [ \*\*\*\* ], and the 2nd optical system (13), the following lighting properties can be substantially controlled by adjusting the condition of these optical members as follows mutually-independent, respectively.

[0015] Justification of the direction of an optical axis of an optical integrator (9) : The scale-factor component of the amount of collapse of the tele cent rucksack nature of an exposure beam, (a1) Two-dimensional justification of a direction perpendicular to the concavo-convex component of the justification:illuminance unevenness which is the direction of an optical axis of the 1st optical system, and the optical axis of the 2nd (c1) optical system : The inclination component of the amount of collapse of the tele cent rucksack nature of an exposure beam (two-dimensional vector quantity), (b1) The tilt angle of the 2nd optical system: (d1) The inclination component of the direction of illuminance unevenness which carries out a tilt. As for the direction which carries out a tilt, in the case of the aligner of a scan exposure method, it is desirable to deal with the non-scanning direction which intersects perpendicularly with a scanning direction. This is because the equalization effectiveness does not arise to illuminance unevenness being equalized in a non-scanning direction according to the storage effect, so amending by the tilt is desirable in a scanning direction.

[0016] Moreover, an optical element for the illumination system to set the illumination distribution of the exposure beam as the local field for deformation lighting in above-mentioned this invention (55), The beam shaping optical system which leads the exposure beam from the exposure light source to the optical element (5), The condensing optical system which draws the exposure beam from the optical element (55) (7A, 7B), When it has an optical integrator (9) (a YUNIFO mizer or homogenizer) for equalizing the illuminance distribution of the exposure beam from this condensing optical system, as for that adjustment system, it is desirable to adjust the condition of that condensing optical system or its beam shaping optical system.

[0017] under the present circumstances, illuminance unevenness can be made small, after making loss of an exposure beam into min by adjusting that beam shaping optical system so that it may be alike, for example, the magnitude of the illuminance of that exposure beam and the magnitude of dispersion in the illuminance distribution of that exposure beam can be balanced. Moreover, the 3rd aligner of this invention is equipped with the illumination system (ILS) which illuminates the 1st body (R) with an exposure beam, in the aligner which exposes the 2nd body (W) through the 1st body with the exposure beam, divides the amount of collapse of the tele cent rucksack nature of the exposure beam in the illumination system into an inclination component and a scale-factor component, and measures it. Thus, by dividing into an inclination component and a scale-factor component, it can adjust easily almost mutually-independent.

[0018] the [ in which the 1st body is laid in the aligner of above-mentioned this invention ] -- the [ in which 1 movable object (31) and its 2nd body are laid ] -- 2 movable objects (39) -- having -- the [ its 1st / the / and ] -- it has further the drive system (34 41) which carries out the synchronous drive of the 2 movable objects, and may be made to carry out scan exposure of the 2nd body with the exposure beam through the 1st body. In this case, it is desirable to measure the inclination component of the illuminance unevenness about the non-scanning direction which intersects perpendicularly with the scanning direction where that exposure beam is detected on the predetermined side where that 2nd body is arranged, and those 1st and 2nd bodies are moved in the exposure field of that exposure beam at the time of that scan exposure. When performing scan exposure, since the illuminance unevenness of a scanning direction is reduced by the equalization effectiveness, it is measuring the illuminance unevenness of a non-scanning direction, and can simplify a metering device.

[0019] Moreover, the exposure beam irradiated by the mark (36A) prepared on the 1st C dynamic body in addition to the 1st body is detected, and you may make it measure the amount of collapse. A lighting property can be measured if needed by this, without depending on the pattern of the 1st body (mask etc.). Next, the adjustment approach of the 1st aligner of this invention In the adjustment approach of the aligner which irradiates the exposure beam which passes along an illumination system (ILS) at the 1st body (R), and exposes the 2nd body (W) with the exposure beam through the 1st body While measuring the lighting property which detects the exposure beam on the predetermined side where the 2nd body is arranged, and contains at least one side of the telecentricity of the illumination system, and distribution of the illuminance in the exposure field of the exposure beam, or the quantity of light While updating the measured lighting

property by count until it drives the optical member within the illumination system (9, 12, 13) based on the measured lighting property and measures the lighting property next, the optical member is driven based on the updated lighting property.

[0020] According to this invention, the measurement frequency of the lighting property is lessened and the lighting property of the illumination system can be adjusted in a short time with high precision. The synchronous drive of the 2 movable objects (39) is carried out. the [ in this case, / in which that 1st body is laid ] -- the [ in which 1 movable object (31) and its 2nd body are laid ] -- You may make it measure the lighting property using the mark (36A) which carries out scan exposure of the 2nd body with the exposure beam through the 1st body, and is prepared on the 1st C dynamic body in addition to the 1st body.

[0021] Furthermore, you may make it measure the inclination component of the illuminance unevenness about the non-scanning direction which intersects perpendicularly with the scanning direction where the exposure beam is detected on the predetermined side where the 2nd body is arranged, and the 1st and 2nd bodies are moved in the exposure field of the exposure beam at the time of the scan exposure. The illuminance unevenness of a scanning direction is measuring the component of a non-scanning direction, since it decreases by the equalization effectiveness, in the case of a scan exposure method, simplifies a measurement process, and can measure a required lighting property efficiently in it.

[0022] Next, the adjustment approach of the 2nd aligner of this invention In the adjustment approach of the aligner which is equipped with the illumination system (ILS) which illuminates the 1st body with an exposure beam, and exposes the 2nd body through the 1st body with the exposure beam The condition of the predetermined optical member in the illumination system (9, 12, 13) is set as two or more conditions. The predetermined lighting property of that illumination system is measured, respectively, and it memorizes in quest of the relation (ratio etc.) of the amount of drives and the variation of a lighting property of that optical member based on this measurement result, and based on this memorized relation, in order to control that lighting property, that optical member is driven. According to this invention, a lighting property can be efficiently adjusted by asking for the relation of the amount of drives and the variation of a lighting property of the optical member beforehand.

[0023] Moreover, the device manufacture approach of this invention includes the process which imprints a device pattern (R) on a work piece (W) using the aligner of this invention. A device with a high degree of integration can be mass-produced with high precision by this invention.

[0024]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, with reference to a drawing, it explains per example of the gestalt of operation of this invention. This example applies this invention to the projection aligner of the scan exposure mold of step - and - scanning method, or step - and - SUTITCHI method. Drawing 1 shows the outline configuration of the projection aligner of this example, and the ArF excimer laser (wavelength of 193nm) is used as the exposure light source 1 in this drawing 1 . However, as the exposure light source 1, it is KrF excimer laser (wavelength of 248nm), and F2. Laser (wavelength of 157nm), and Kr2 Laser (wavelength of 146nm), the higher-harmonic generator of an YAG laser, the higher-harmonic generator of semiconductor laser, or a mercury lamp can be used. the beam matching unit (BMU) 2 for the exposure light IL (exposure beam) which consists of ultraviolet pulsed light with a wavelength [ from the exposure light source 1 ] of 193nm to make an optical path match in location between the bodies of an aligner -- a passage -- the adjustable beam attenuator 3 as an optical attenuator -- incidence -- carrying out . While the exposure control unit 21 for controlling the light exposure to the photoresist on a wafer controls an output (an oscillation frequency, pulse energy) in initiation of luminescence of the exposure light source 1 and a halt, and a list, the rate of extinction in the adjustable beam attenuator 3 is adjusted gradually or continuously.

[0025] Incidence of the exposure light IL which passed along the adjustable beam attenuator 3 is carried out to the 1st fly eye lens 6 as an optical integrator (a YUNIFO mizer or homogenizer) of the 1st step through the beam shaping system 5 which consists of 1st lens system 4A and 2nd lens system 4B which are arranged in accordance with a predetermined optical axis. Incidence of the exposure light IL injected from this 1st fly eye lens 6 is carried out to the 2nd fly eye lens 9 as an optical integrator of the 2nd step through the mirror 8 for 1st lens system 7A and optical-path bending, and 2nd lens system 7B. The relay optical system (or it can also be called a beam shaping system) as condensing optical system consists of 1st lens system 7A and 2nd lens system 7B.

[0026] The aperture-diaphragm plate 10 is arranged by drive-motor 10e free [ rotation ] in the optical Fourier transform side (pupil surface of an illumination system) over the injection side of the 2nd fly eye lens 9, i.e., the pattern side of the reticle R for exposure, (reticle side). As shown to the aperture-diaphragm plate 10 in a front view at drawing 6 (b), aperture-diaphragm 10a usually circular [ for lighting ], Aperture-



diaphragm 10b for the zona-orbicularis lighting as an example of deformation lighting, aperture-diaphragm 10c which consists of small opening in which the plurality (this example four pieces) for the deformation light sources (or the so-called oblique illumination) as another example of deformation lighting carried out eccentricity, And 10d of aperture diaphragms of the small small-circle form for coherence factors (sigma value) is arranged free [ a switch ]. Aperture-diaphragm 10c can also be said to be the aperture diaphragm for 4 pole lighting. The "lighting condition switch system" which switches lighting conditions to any of two or more lighting conditions (usually lighting, deformation lighting, and small sigma value lighting) they are consists of an aperture-diaphragm plate 10 and drive-motor 10e, and the main control system 22 which carries out control control of the actuation of the whole equipment sets up lighting conditions through drive-motor 10e.

[0027] In drawing 1 , aperture-diaphragm 10a for lighting is usually installed in the injection side of the 2nd fly eye lens 9, and incidence of the exposure light IL which was injected from the 2nd fly eye lens 9, and passed aperture-diaphragm 10a is carried out to the beam splitter 11 with a low reflection factor with high transmission. Incidence of the exposure light reflected by the beam splitter 11 is carried out to the integrator sensor 20 which consists of a photodetector through the lens 19 for condensing, and the detecting signal S1 of the integrator sensor 20 is supplied to the exposure control unit 21. The relation between the detecting signal of the integrator sensor 20 and the illuminance of the exposure light IL on the wafer W as an exposed substrate is measured with high precision beforehand, and is memorized by the memory in the exposure control unit 21. The exposure control unit 21 is constituted so that the monitor of the illuminance (average) and its integral value of the exposure light IL to Wafer W can be carried out more nearly indirectly than the detecting signal of the integrator sensor 20.

[0028] the exposure light IL which penetrated the beam splitter 11 should pass the 1st lens system 12 (the 1st optical system) and the 2nd lens system 13 (the 2nd optical system) in accordance with an optical axis IAX -- incidence is carried out to fixed blind (fixed lighting field diaphragm) 14A and movable blind (movable lighting field diaphragm) 14B one by one. The latter movable blind 14B is installed in the conjugation side over a reticle side, and the former fixed blind 14A is arranged in the field which defocused only the specified quantity from the conjugation side. Fixed blind 14A centers on an optical axis AX mostly within the circular visual field of projection optics PL, and has opening arranged so that it may be extended the shape of a straight-line slit, and in the shape of a rectangle (collectively henceforth "the shape of a slit") to the non-scanning direction (the direction of X) which intersects perpendicularly with the scanning direction (the direction of Y) where Reticle R and Wafer W are moved at the time of scan exposure as indicated by JP,4-196513,A. That is, in this example, fixed blind 14A has the Sekiguchi section whose width of face about a scanning direction is immobilization at least while specifying exposure field 35P on the lighting field 35 on the reticle R by which the exposure light IL is irradiated, and Wafer W (projection field in which it is the lighting field 35 and conjugate and the pattern image in the lighting field 35 is formed about projection optics PL).

[0029] Furthermore, movable blind 14B is used in order to make adjustable width of face of the lighting field 35 specified by fixed blind 14A in order to prevent unnecessary exposure at the time of initiation of the scan exposure to each shot field on Wafer W, and termination, and the scanning direction of exposure field 35P. Movable blind 14B is used also in order to make the width of face adjustable according to the size of the pattern space of Reticle R about the direction (non-scanning direction) which intersected perpendicularly with the scanning direction SD further. The information on the numerical aperture of movable blind 14B is supplied also to the exposure control unit 21, and the value which multiplied the illuminance called for from the detecting signal of the integrator sensor 20 by the numerical aperture serves as an actual illuminance on Wafer W. In addition, the arrangement is not limited to drawing 1 , and fixed blind 14A and movable blind 14B may make fixed blind 14A approach Reticle R between Reticle R and an illumination-light study system, for example, may be arranged.

[0030] The exposure light IL which passed fixed blind 14A at the time of exposure illuminates the lighting field (lighting visual field field) 35 of the pattern side (inferior surface of tongue) of the reticle R as a mask through the mirror 15 for optical-path bending, the lens system 16 for image formation, the subcondensing lens system 17, and the main condensing lens system 18. the basis of the exposure light IL -- the image of the circuit pattern in the lighting field of Reticle R -- a both-sides tele cent -- through the rucksack projection optics PL, it is the predetermined projection scale factor beta (beta is 1/4, and 1 / 5 grades), and exposure field 35P of the shape of a slit of the photoresist layer on the wafer W as a substrate (expose substrate) arrange in the image formation side of projection optics PL imprint. Reticle R and Wafer W are equivalent to the 1st body and the 2nd body of this invention, respectively, and Wafers (wafer) W are disc-like

substrates, such as semi-conductors (silicon etc.) or SOI (silicon on insulator). Although the projection optics PL as a projection system of this example is dioptric \*\* (refractive media), it cannot be overemphasized that a catadioptric system (reflective refractive media) and a reflective system can also be used. The Z-axis is taken in parallel with the optical axis AX of projection optics PL hereafter, a Y-axis is taken to a scanning direction (direction parallel to the space of drawing 1 here) in a flat surface perpendicular to the Z-axis, and the X-axis is taken and explained to the non-scanning direction (direction perpendicular to the space of drawing 1 here) which intersects perpendicularly with a scanning direction.

[0031] In drawing 1 The exposure light source 1, the beam matching unit 2, the adjustable beam attenuator 3, the beam shaping system 5, the 1st fly eye lens 6, 1st lens system 7A, 2nd lens system 7B, the 2nd fly eye lens 9, the 1st lens system 12, the 2nd lens system 13, fixed blind 14A, The illumination-light study system ILS consists of movable blind 14B, an image formation lens system 16, a subcondensing lens system 17, and main condensing lens system 18 grade, and the illumination-light study system ILS supports the illumination system of this invention. And the optical axis IAX of the illumination-light study system ILS has agreed with the optical axis AX of projection optics PL on Reticle R. In this example, the 2nd fly eye lens 9, the 1st lens system 12, and the 2nd lens system 13 are equipped with the 1st drive unit 23, the 2nd drive unit 24, and the drive unit group 25, respectively.

[0032] Drawing 2 is the perspective view showing the optical system from the 2nd fly eye lens 9 of drawing 1 to the 2nd lens system 13, and relation with the lighting field 35, and makes the direction of [ on the 2nd fly eye lens 9 corresponding to the scanning direction SD (the direction of Y) and the non-scanning direction (the direction of X) of the reticle to the lighting field 35 ] the direction of y, and x directions in this drawing 2, respectively. And the 1st drive unit 23 adjusts the location of the optical-axis IAX direction (the direction of an arrow head A1) of the 2nd fly eye lens 9, and the 2nd drive unit 24 adjusts the location of the optical axis IAX of the 1st lens system 12 (the direction of an arrow head A2). The drive unit group 25 of drawing 1 Moreover, 3rd drive unit 25X of drawing 2, It consists of the 4th drive unit 25Y and the 5th drive unit 25T. The drive units 25X and 25Y adjust the location of x directions (the direction of arrow-head A3) respectively perpendicular to the optical axis IAX of the 2nd lens system 13, and the direction (the direction of arrow-head A4) of y. Drive unit 25T adjust the surrounding (the direction of arrow-head A5) tilt angle of a shaft parallel to the y-axis through the optical axis IAX of the 2nd lens system 13. It can be said that drive unit 25T adjust the tilt angle (tilt angle) of the 2nd lens system 13 a direction [ corresponding to the non-scanning direction of the lighting field 35 ].

[0033] As drive units 23-25T, the driving gear to which the variation rate of the flange of the optical member for a drive is carried out, for example by driver elements, such as a micrometer of an electric type or a piezo-electric element, can be used. In this case, the encoders (rotary encoder etc.) (un-illustrating) in which the amount of displacement of the optical member in [ which can be driven ] the range (drive stroke) is shown, respectively are built into the drive units 23-25T. The detecting signal of these encoders is supplied to the drive system 26 of drawing 1, and a drive system 26 controls the condition of the 2nd fly eye lens 9, the 1st lens system 12, and the 2nd lens system 13 through the drive units 23-25T based on the detecting signal and the drive information from the main control system 22. In addition, for example, an electrostatic-capacity sensor etc. may be used as an encoder the drive unit 23 - for 25T.

[0034] Moreover, when performing deformation lighting, as shown in drawing 6 (a), it consists of these examples so that the 1st fly eye lens 6 can be exchanged using a swap device 56 by the quantity of light distribution sensing element 55 which consists of a diffracted-light study component (Diffractive Optical Element:DOE). The quantity of light distribution sensing element 55 is equivalent to the optical element for setting an exposure beam as a local field.

[0035] In drawing 6 (a), in performing deformation lighting, zona-orbicularis-like aperture-diaphragm 10b (or aperture-diaphragm 10c for 4 pole lighting) is installed in the injection side of the 2nd fly eye lens 9 as an example, and the quantity of light distribution sensing element 55 condenses the exposure light IL according to the diffraction effect to the almost ring band-like field of the plane of incidence of the 2nd fly eye lens 9. The quantity of light distribution sensing element 55 is also contained in the illumination-light study system ILS. Also when the use effectiveness of the exposure light IL is raised by this and it performs deformation lighting by it, a high illuminance is obtained on a wafer. In this case, the drive unit 57 for adjusting the drive unit 62 for adjusting the location of the two-dimensional direction perpendicular to the drive unit 58 for adjusting the location of the optical-axis IAX direction of 2nd lens system 7B and the optical axis of 1st lens system 7A and the location u of the optical-axis IAX direction of 2nd lens system 4B of the beam shaping system 5 is used. The drive units 57, 58, and 62 which consist of micrometers of an electric type etc. are also equipped with an encoder, respectively, and based on the drive information on the

detecting signal of these encoders, and the main control system 22 of drawing 1, it is constituted so that a drive system 26 can control the condition of the 2nd lens system 57, 2nd lens system 7B, and 1st lens system 7A through the drive units 57, 58, and 62.

[0036] In addition, two or more quantity of light distribution sensing elements (diffracted-light study component) which generate the exposure light IL from which the exposure field (intensity distribution) on the plane of incidence of the 2nd fly eye lens 9 differs are prepared in a swap device 56. According to lighting conditions (one [ namely, / the intensity distribution of the exposure light IL on the pupil surface of an illumination-light study system, and two or more aperture diaphragms / 10a-10d / which are arranged in an illumination-light way in this example ]), the quantity of light distribution sensing element to which the use effectiveness of the exposure light IL becomes high most is chosen, and you may make it arrange in an illumination-light way. It is not necessary to form the 1st fly eye lens 6 in a swap device 56 at this time.

[0037] Adsorption maintenance of return and the reticle R is carried out on a reticle stage 31, and the reticle stage 31 is laid in drawing 1 so that it can move slightly to the direction of X, the direction of Y, and a hand of cut, while being able to carry out uniform migration in the direction of Y on the reticle base 32. The two-dimensional location of a reticle stage 31 (reticle R) and the angle of rotation are measured by real time with the laser interferometer in the drive control unit 34. Based on this measurement result and the control information from the main control system 22, the drive motors in the drive control unit 34 (a linear motor, voice coil motor, etc.) perform the scan speed of a reticle stage 31, and control of a location. Moreover, the evaluation mark plate 33 which consists of a glass substrate near the reticle R of a reticle stage 31 is being fixed.

[0038] Drawing 3 (a) is the top view showing the reticle stage 31 of drawing 1, and is set to this drawing 3 (a). The evaluation mark plate 33 is fixed on opening of the field which adjoins a scanning direction SD (the direction of Y) to the reticle R of a reticle stage 31. In the field of the almost same magnitude as the lighting field 35 of the evaluation mark plate 33, the same 13 two-dimensional marks 36A and 36B for evaluation and --36M are formed as an example by almost uniform distribution. Although mark 36A for evaluation is the two-dimensional mark which combined mark 37Y of the Y-axis which consists of Rhine - and - tooth-space pattern which were arranged in the predetermined pitch in mark 37X and the direction of Y of the X-axis which consists of Rhine - and - tooth-space pattern which were arranged in the predetermined pitch in the direction of X, a box Inn box mark etc. can be used. In this example, in case the amount of collapse of the tele cent rucksack nature of the exposure light IL, i.e., the telecentricity of an illumination-light study system, is measured like the after-mentioned, a reticle stage 31 is driven in the direction of Y, the core (the mark 36 for evaluation G cores) of the evaluation mark plate 33 is doubled with the core (optical axis AX) of the lighting field 35, and the marks 36A and 36B for evaluation and the image of --36M are projected on a wafer side through projection optics PL. Image 36AP of mark 36A for evaluation is shown in the enlarged drawing of drawing 3 (b).

[0039] Adsorption maintenance is carried out on the wafer stage 39 through the wafer holder 38 to drawing 1, and return and Wafer W carry out two-dimensional migration of the wafer stage 39 along the image surface of projection optics PL, and parallel XY flat surface at it on the wafer base 40. Namely, the wafer stage 39 carries out step migration in the direction of X, and the direction of Y while moving in the direction of Y with constant speed on the wafer base 40. Furthermore, Z leveling device which controls the surrounding tilt angle of the location (focal location) of the Z direction of Wafer W, the X-axis, and a Y-axis is also included in the wafer stage 39, and the automatic focus sensor (un-illustrating) of the multipoint for measuring a focal location in two or more measure points of the front face of Wafer W is also formed in it. The front face of Wafer W focuses to the image surface of projection optics PL by driving Z leveling device by the automatic focus method based on the measurement value of the automatic focus sensor at the time of exposure. Moreover, at the time of measurement of a lighting property, only the amount of arbitration can control the focal location of the top face of the wafer stage 39 by driving Z leveling device in the wafer stage 39 based on the measurement value of the automatic focus sensor as an example.

[0040] The surrounding angle of rotation of the location of the direction of X of the wafer stage 39 and the direction of Y and the X-axis, a Y-axis, and the Z-axis is measured by real time with the laser interferometer in the drive control unit 41. Based on this measurement result and the control information from the main control system 22, the drive motors in the drive control unit 41 (linear motor etc.) perform the scan speed of the wafer stage 39, and control of a location.

[0041] The main control system 22 sends various information, such as each migration location of a reticle stage 31 and the wafer stage 39, passing speed, migration acceleration, and location offset, to the drive control units 34 and 41. And it synchronizes with Reticle R being scanned at a rate  $V_r$  in the direction (or

the direction of -Y) of +Y to the lighting field 35 of the exposure light IL through a reticle stage 31 at the time of scan exposure. Wafer W is scanned in the direction (or the direction of +Y) of -Y to exposure field 35P of the pattern image of Reticle R through the wafer stage 39 by rate  $\beta \cdot V_r$  ( $\beta$  is a projection scale factor from Reticle R to Wafer W). In order to prevent the exposure to an unnecessary part at the time of initiation of the scan exposure in this case, and termination, the switching action of movable blind 14B is controlled by the drive control unit 34.

[0042] Furthermore, the main control system 22 reads the various exposure conditions for carrying out scan exposure of the photoresist of each shot field on Wafer W with proper light exposure from an exposure data file, cooperates also with the exposure control unit 21, and performs the optimal exposure sequence. That is, if the command of the scan exposure initiation to one shot field on Wafer W is emitted by the exposure control unit 21 from the main control system 22, the exposure control unit 21 will compute the integral value of the illuminance (sum of the pulse energy per unit time amount) of the exposure light IL to Wafer W through the integrator sensor 20 while starting luminescence of the exposure light source 1. The integral value is reset by 0 at the time of scan exposure initiation. And the integral value of that illuminance is computed serially, and according to this result, the output (an oscillation frequency and pulse energy) of the exposure light source 1 and the rate of extinction of the adjustable beam attenuator 3 are controlled by the exposure control unit 21 so that proper light exposure is obtained on each point of the photoresist on the wafer W after scan exposure. And luminescence of the exposure light source 1 is stopped at the time of termination of the scan exposure to the shot field concerned.

[0043] Now, near the wafer holder 38 on the wafer stage 39 of this example, the illuminance unevenness sensor 42 which consists of a photodetector and has pinhole-like light sensing portion 42a (refer to drawing 4 (a)) is installed, and the detecting signal S2 of the illuminance unevenness sensor 42 is also supplied to the exposure control unit 21. In addition, the illuminance unevenness sensor 42 may use the light sensing portion which consists of a line sensor or CCD prolonged along the scanning direction (the direction of Y) of the wafer W to exposure field 35P instead of being pinhole-like light sensing portion 42a, combining it. In this case, each location of the non-scanning direction (the direction of X) which intersects perpendicularly with a scanning direction within exposure field 35P. An illuminance may be integrated about a scanning direction and the illumination distribution about a non-scanning direction may be searched for based on this addition value. By this The illumination distribution of the non-scanning direction which considered the equalization effectiveness of the illuminance unevenness of the scanning direction by scan exposure (illuminance unevenness), i.e., the light exposure distribution about the non-scanning direction on the wafer after scan exposure, (light exposure unevenness) can be acquired. Therefore, it may be made to optimize the lighting property later mentioned using this measurement result (amendment of illuminance unevenness). In addition, by carrying out two-dimensional migration of the wafer stage 39 at the time of intensity-of-illumination measurement, even if it uses pinhole-like light sensing portion 42a, it is possible to search for the same illumination distribution.

[0044] Moreover, although not illustrated, the exposure monitor which has a wrap light sensing portion is also installed in exposure field 35P of the whole, and the multiplier for asking for the illuminance on Wafer W indirectly from the detecting signal of the integrator sensor 20 is computed based on the detecting signal of this exposure monitor, and the detecting signal of the integrator sensor 20. Furthermore, near the wafer holder 38 on the wafer stage 39, the scan plate 43 which consists of a glass substrate is installed, and square opening pattern 43a is mostly formed into the light-shielding film on the scan plate 43. And a condenser lens 44 and a photodetector 45 are arranged at the base side of the scan plate 43 in the wafer stage 39, the space image measurement system 46 consists of a scan plate 43, a condenser lens 44, and a photodetector 45, and the detecting signal S3 of a photodetector 45 is supplied to the operation part in the exposure control unit 21.

[0045] In addition, the space image measurement system 46 may prepare only the part (for example, in this example, the scan plate 43 and a part of light transmission system [ at least ] containing a condenser lens 44 etc. are included) in the wafer stage 39, and may arrange the remaining components (photodetector 45 etc.) to the exterior of the wafer stage 39. moreover, at the time of measurement of the lighting property which only one open ROPATAN 43a is formed in the scan plate 43, and is mentioned later, the space image measurement system 46 Although opening pattern 43a is displaced relatively to each of the image of the mark for evaluation of plurality (this example 13 pieces) arranged in the lighting field 35, respectively to a scanning direction and a non-scanning direction (the direction of Y, and the direction of X) while carrying out stepping of the wafer stage 39 two-dimensional At for example, the time of relative displacement with the image of the mark for evaluation and an opening pattern form opening pattern 43a of the two or more

marks for evaluation and same number in the scan plate 43, and concerning a scanning direction Package detection of the image of two or more of the marks for evaluation may be carried out, respectively at the time of relative displacement with the image of the mark for evaluation and opening pattern about a non-scanning direction.

[0046] Furthermore, form in the scan plate 43 opening pattern 43a of the mark for evaluation of plurality (this example five pieces), and the same number left to a non-scanning direction among two or more of the marks for evaluation along a non-scanning direction, and the wafer stage 39 is moved to a scanning direction. May detect continuously the image of each mark for evaluation arranged in a scanning direction for every opening pattern, and Contrary to this, open ROPATAN 43a of the mark for evaluation and the same number may be formed in the scan plate 43 about a scanning direction, the wafer stage 39 may be moved to a non-scanning direction, and the image of the mark for evaluation may be continuously detected for every opening pattern. At this time, it is desirable to drive movable blind 14B according to migration of the wafer stage 39 so that the exposure light IL may be irradiated by a part of lighting field 35 during detection of two or more of those marks for evaluation. In addition, when the image and opening pattern of the mark for evaluation are displaced relatively about a non-scanning direction by the former approach When it is necessary to make a scanning direction carry out stepping of the wafer stage 39 and the image and opening pattern of the mark for evaluation are displaced relatively about a scanning direction by the latter approach In order to make a non-scanning direction carry out stepping of the wafer stage 39, it is also good to move the wafer stage 39 to a scanning direction and a non-scanning direction by a unit of 1 time combining both.

[0047] For example, after moving opening pattern 43a of the scan plate 43 before image 36AP in measuring the location of the direction of Y of image 36AP of mark 36A for evaluation as shown in drawing 3 (a) and (b), the wafer stage 39 is driven and image 36AP is scanned by opening pattern 43a. In this case, the positional information of the wafer stage 39 is also supplied to the exposure control unit 21 through the main control system 22, and the location of the direction of Y of image 36AP is computed in the operation part in the exposure control unit 21 from the signal which differentiated the detecting signal of a photodetector 45 about the location of the direction of X of the wafer stage 39, and was acquired. By scanning image 36AP in the direction of X by opening pattern 43a similarly, the location of the direction of X of image 36AP is also computed, and the positional information of the direction of X of image 36AP and the direction of Y is supplied to the main control system 22.

[0048] Return, the evaluation mark plate 33 on a reticle stage 31, the illuminance unevenness sensor 42 by the side of the wafer stage 39, and the space image measurement system 46 support drawing 1 at the property measurement system which measures the predetermined lighting property (optical property) of this invention. Next, it explains per example of the adjustment actuation for optimizing the predetermined lighting property of the illumination-light study system of this example. In this example, dispersion (it is hereafter called "illuminance unevenness") of the illuminance distribution of the lighting field 35, as a result the exposure light IL of exposure field 35P and the amount of collapse of the tele cent rucksack nature of the exposure light IL to Reticle R (it is hereafter called "lighting TERESSEN") are chosen as the 1st group of the predetermined lighting property. This is for these two lighting properties to have biggest effect to the photoresist on the projection image by projection optics PL, and Wafer W.

[0049] And the illuminance unevenness is divided into the primary component (this is called an "inclination component") about the location of the non-scanning direction (the direction of X) of exposure field 35P, and the secondary component (this is called "a concavo-convex component") about the location. That is, if an illuminance is made into the function PF of a location X (X), an illuminance PF (X) can be approximated as follows and an inclination component and a multiplier b will serve as [ a multiplier a ] a concavo-convex component. In this case, since the illuminance unevenness component of a scanning direction (the direction of Y) is equalized by scan exposure, it has not been made applicable to evaluation especially by this example. The concavo-convex component is also a symmetrical component (axial symmetry component) about an optical axis.

[0050]

$$PF(X) = a \cdot X + b \cdot X^2 + \text{offset} \quad (1)$$

Moreover, the lighting TERESSEN is divided into the scale-factor component e corresponding to the average tilt angle to radial to the inclination components (shift component) c and d corresponding to the tilt angle to the average direction of X and the direction of Y of exposure light of in the lighting field 35 (exposure field 35P), and the optical axis of exposure light. In this case, it is set as the location where only  $\Delta$  made the focal location of the wafer stage 39 defocus to a focus location in this example. The location (the amount of

distortion) of the image of much marks for evaluation is measured by the space image measurement system 46 in each focal location. The inclination components  $c$  and  $d$  can be calculated from the average shift amount of the image of the mark for evaluation to the variation of a focal location, and the scale-factor component  $e$  can be calculated from the average shift amount to radial [ of the image of those marks for evaluation ].

[0051] Moreover, although the condition of the 2nd fly eye lens 9, the 1st lens system 12, and the 2nd lens system 13 is controllable by this example through five drive units 23, 24, 25X, 25Y, and 25T, respectively as explained with reference to drawing 2, each above-mentioned lighting property can be controlled by these control almost independently as follows.

Justification of the direction of an optical axis of the 2nd fly eye lens 9 by the 1st drive unit 23 : Scale-factor component [ of lighting TERESSEN ]  $e$  [mrad], (a2) Justification of the direction of an optical axis of the 1st lens system 12 by the 2nd drive unit 24 : Concavo-convex component [ of illuminance unevenness ]  $b$  [%], (b2) Justification of the  $x$  directions of the 2nd lens system 13 by 3rd drive unit 25X : Inclination component [ of the direction of  $X$  of lighting TERESSEN ]  $c$  [mrad], (c2) (c3) justification [ of the direction of  $y$  of the 2nd lens system 13 by 4th drive unit 25Y ]: -- inclination component [ of the direction of  $Y$  of lighting TERESSEN ]  $d$  [mrad], and the (d2) 5th -- inclination component [ of the non-scanning direction of the tilt angle adjustment:illuminance unevenness of the 2nd lens system 13 by drive unit 25T ]  $a$  [%].

[0052] Thus, when the condition of the optical member which corresponds by one drive unit of the arbitration of two or more drive units 23-25T is controlled by this example, only one kind of lighting property (optical property) changes substantially, and the combination of the optical member which can control a condition so that other lighting properties do not change is optimized. By this, it is easy control and automatic adjustment of a lighting property can be performed with high precision. Moreover, all fundamental lighting properties are automatically controllable by making the number of a drive unit into five pieces. However, in making the lighting property of a controlled system only for example, into lighting TERESSEN, the number of a drive unit and arrangement change according to the lighting property of a controlled system, such as making the number of a drive unit into three pieces.

[0053] In addition, also as for a possibility of affecting [ in fact ] it to other lighting properties slightly among five drive units, for a certain reason, it is desirable for the effect to other lighting properties to also take into consideration. For this reason, as first shown in the flow chart of drawing 8, when the unit quantity drive of the five drive units 23, 24, 25X, 25Y, and 25T is carried out, it asks for the drive rate which shows which can change a lighting property.

[0054] That is, in step 101 of drawing 8, the aperture-diaphragm plate 10 of drawing 1 is controlled, and lighting conditions are usually set up for any of lighting, deformation lighting (zona-orbicularis lighting or 4 pole lighting), or small sigma value lighting being. In the following step 102, the  $i$ -th drive unit ( $i=1-5$ ) in five drive unit 23 - 25T is chosen. Here, the 2nd drive unit 24 corresponding to the 1st lens system 12 should be chosen. In the following step 103, where it set up the amount  $d2$  of drives of the drive unit 24 in the center ( $d2=0$ ) of the range which can be driven and the 1st lens system 12 is set as the optical zero which is a location on a design, measurement of illuminance unevenness and lighting TERESSEN is performed.

[0055] In order to measure the illuminance unevenness, the glass substrate with which a pattern is not formed instead of Reticle R on the reticle stage 31 in drawing 1 is installed, the exposure light IL is irradiated to the lighting field 35, exposure field 35P are scanned to a non-scanning direction (the direction of  $X$ ) by the light sensing portion of the illuminance unevenness sensor 42, and the detecting signal S2 of the illuminance unevenness sensor 42 is incorporated to the exposure control unit 21. In addition, the field in which the mark for evaluation in the field in which the pattern of the reticles R is not formed instead of or the evaluation mark plate 33 is not formed may be used. [ the glass substrate ]

[0056] Drawing 4 (a) shows the condition of scanning exposure field 35P in the direction of  $X$  by light sensing portion 42a of the illuminance unevenness sensor 42, and shows the detecting signal S2 which curvilinear 51A of drawing 4 (b) was made to correspond to the location of the direction of  $X$  of the illuminance unevenness sensor 42 (wafer stage 39) then, and was plotted. The operation part in the exposure control unit 21 of this example computes the value  $a1$  of the inclination component  $a$  of illuminance unevenness, and the value  $b1$  of the concavo-convex component  $b$  by approximating curvilinear 51A with a least square method to the right-hand side of (1) type. The zero of the direction of  $X$  in this case is used as the optical axis AX of projection optics PL. As a dotted line shows, when curvilinear 51A is divided into primary straight-line 52A and secondary curvilinear 53A, the inclination of straight-line 52A is set to  $a1$ , and it is  $X2$  of 2 order curvilinear 53A. A multiplier is set to  $b1$ .

[0057] Next, in order to measure lighting TERESSEN, in drawing 1, a reticle stage 31 is driven, the core of



the evaluation mark plate 33 is moved to the core of the lighting field 35, the wafer stage 39 is driven, and the scan plate 43 of the space image measurement system 46 is moved near exposure field 35P. And drive Z leveling device in the wafer stage 39, and only +delta sets up the focal location of the scan plate 43 highly from the image surface (best focus location) over projection optics PL (delta is beforehand set up within limits from which predetermined resolution is obtained). The exposure of the exposure light IL is started, and as shown in drawing 5 (a), image 36AP of the marks 36A-36M for evaluation of the evaluation mark plate 33 - 36MP are projected on the wafer stage 39. In this condition, as explained with reference to drawing 3 (b), by scanning those image 36AP - 36MP in the direction of X, and the direction of Y by opening pattern 43a of the scan plate 43, and processing the detecting signal S3 obtained by the operation part in the exposure control unit 21, the location of the direction of X of those image 36AP - 36MP and the direction of Y is computed, and a calculation result is supplied to the main control system 22. the zero in this case -- for example, the object for central evaluation -- it is the core of image 36GP of mark 36G.

[0058] In addition, it is desirable to irradiate the exposure light IL only at the mark for evaluation to which movable blind 14B is driven according to migration of the wafer stage 39, and a part of lighting field 35 should detect the image by the space image measurement system 46 during the above-mentioned detection actuation. Thus, let the images of the marks 36A-36M for evaluation which only +delta made defocus the scan plate 43 and were measured be the images 54A-54M on the grid of the dotted line of drawing 5 (a). In addition, for convenience, although the grid of a dotted line is drawn on the rectangle, a certain extent has the distorted thing of explanation by distortion in fact.

[0059] Next, it is a best focus location about the focal location of the scan plate 43. - Only delta is set up low, asks for the location of the marks 36A and 36B for evaluation, the direction of X of image 36AP of -- 36M - 36MP, and the direction of Y using the space image measurement system 46 similarly, and is supplied to the main control system 22. Image 36AP in this case - 36MP, and the images 54A-54M measured previously are displayed on drawing 5 (a). It is a focal location to the images 54A-54M when only +delta makes a focal location defocus by the main control system 22 as shown in drawing 5 (a). - The two-dimensional amount of location gaps to the direction of X of image 36AP at the time of making only delta defocus - 36MP and the direction of Y is calculated as vector <VA>- <VM>. Moreover, it is computed as the average <V2> (= e1) of a radial (the direction of R) component shows drawing 5 (b) and (c) to the simple average <V1> (= (c1, d1)) of these vectors, and a zero. The average (c1, d1) is the inclination component of lighting TERESSEN, and the average e1 is the scale-factor component of lighting TERESSEN.

[0060] Next, in step 104, where the amount d2 of drives of the drive unit 24 is set as the edge by the side of + of the range which can be driven (d2=d2max), measurement of illuminance unevenness and lighting TERESSEN is performed. As shown in drawing 4 (c), curvilinear 51B of the detecting signal S2 of the illuminance unevenness sensor 42 is obtained by this, and the inclination component a2 and the concavo-convex component b2 of illuminance unevenness are obtained by dividing this curvilinear 51B into primary straight-line 52B and secondary curvilinear 53B. Moreover, as shown in drawing 5 (e) and (f), the inclination component (c2, d2) of lighting TERESSEN and the scale-factor component e2 of lighting TERESSEN are obtained from vector <VA>[ of a location gap of image 36AP of the marks 36A-36M for evaluation of drawing 5 (d) - 36MP ] - <VM>.

[0061] Next, in step 105, where the amount d2 of drives of the drive unit 24 is set as the edge by the side of - of the range which can be driven (d2=-d2max), measurement of illuminance unevenness and lighting TERESSEN is performed. The inclination component a3 of illuminance unevenness, the concavo-convex component b3 and the inclination component (c3, d3) of lighting TERESSEN, and the scale-factor component e3 are similarly obtained by this. In addition, it is desirable to set the amount of drives of the drive unit 24 as four or more places, and to measure illuminance unevenness and lighting TERESSEN to compute a drive rate still with high precision.

[0062] In subsequent step 106, the drive rate of the drive unit 24 (the 1st lens system 12) is computed using the above-mentioned measurement value. As an example, they are 0, d2max, and -d2max about the amount d2 of drives. Since the inclination components a of the illuminance unevenness when setting up are a1, a2, and a3, respectively, they are as follows. [ of the drive rate ka2 to the inclination component a [%/mm] ]  

$$ka2 = [(a2 - a1) / d2max - (a3 - a1) / (-d2max)] / 2 \quad \text{-- (2)}$$

[0063] Similarly, the drive rate kb 2 [%/mm] and kc2 [mrad/mm] to the concavo-convex component b of illuminance unevenness, the inclination components c and d of lighting TERESSEN, and the scale-factor component e of lighting TERESSEN, kd2 [mrad/mm], and ke2 [mrad/mm] are computed, and the storage section in the main control system 22 memorizes. In this case, although a dominant value is the drive rate kb 2 to the concavo-convex component b of illuminance unevenness, it may be memorized as it is about what is

over predetermined level also with other values, and may be memorized as 0 about the value in predetermined level.

[0064] When driving the 1st lens system 12 concretely, the drive rate  $ke_2$  to the scale-factor component  $e$  of lighting TERESSEN which has the property of central symmetry (axial symmetry) as well as the concavo-convex component  $b$  may exceed predetermined level. Thus, the drive rates  $k_{ai}$ ,  $k_{bi}$ ,  $k_{ci}$ ,  $k_{di}$ , and  $k_{ei}$  ( $i=1-5$ ) are computed by performing actuation of steps 102-106 about all the drive units 23-25T, and it memorizes as a parameter for every lighting conditions in the main control system 22. Then, it shifts to step 108 from step 107, and judges whether the drive rate was computed about all required lighting conditions, and when having not ended, a drive rate is computed by returning to step 101 and switching lighting conditions. In addition, although a drive rate shall be computed about all lighting conditions here, this example is not limited to this, and computes a drive rate about a part of all lighting conditions, for example, you may make it determine a drive rate by interpolation count etc. based on the drive rate of other lighting conditions about the remaining lighting conditions.

[0065] under the present circumstances -- alike -- the case of the 2nd drive unit 24 (the 1st lens system 12) -- a core -- originally the drive rates  $ka_2$ ,  $kc_2$ , and  $kd_2$  about an unsymmetrical component are the amounts of extent which can be disregarded. When these drive rates are large beyond a certain value, the 1st lens system 12 may be carrying out eccentricity, or it may lean, such faults can be detected in this phase, and it can adjust based on this.

[0066] Next, with reference to the flow chart of drawing 9, it explains per [ which adjusts an illumination-light study system automatically ] example of a sequence using the drive rate for which it asked as mentioned above. First, in step 111 of drawing 9, lighting conditions are chosen through the aperture-diaphragm plate 10 of drawing 1, the amount of drives of all the drive units 23, 24, 25X-25T is set as a center valve position, and a corresponding optical member is set as an optical zero. In the following step 112, illuminance unevenness and lighting TERESSEN are measured like step 103 of drawing 8. And in step 113, in the procedure shown in drawing 4 and drawing 5, the inclination component (primary component)  $a$  of illuminance unevenness and the concavo-convex component (secondary component)  $b$  are computed, and the inclination components (shift component)  $c$  and  $d$  of lighting TERESSEN and the scale-factor component  $e$  are computed. When the illuminance unevenness  $a$  and  $b$  and lighting TERESSEN  $c$ ,  $d$ , and  $e$  judge whether it is the inside of tolerance in the following step 114, respectively and any they are has separated from tolerance, it shifts to step 115. The amount  $d_i$  ( $i=1-5$ ) of drives of five drive units 23-25T for being on count, respectively and setting the illuminance unevenness  $a$  and  $b$  and lighting TERESSEN  $c$ ,  $d$ , and  $e$  to 0 is computed using the drive rates  $k_{ai}$ ,  $k_{bi}$ ,  $k_{ci}$ ,  $k_{di}$ , and  $k_{ei}$  ( $i=1-5$ ) memorized in the main control system 22. In this case, what is necessary is just to solve the following simultaneous equations.

[0067]



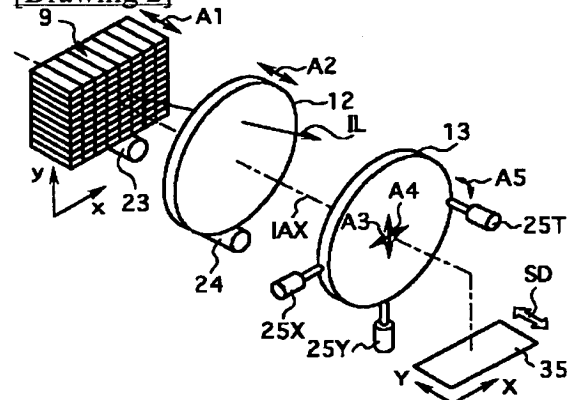
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

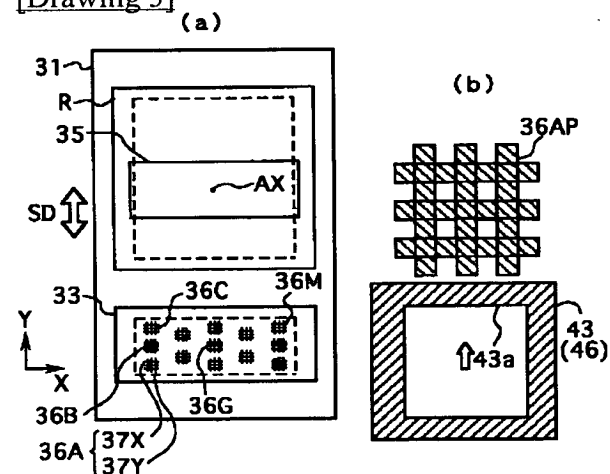
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

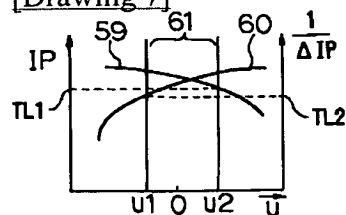
[Drawing 2]



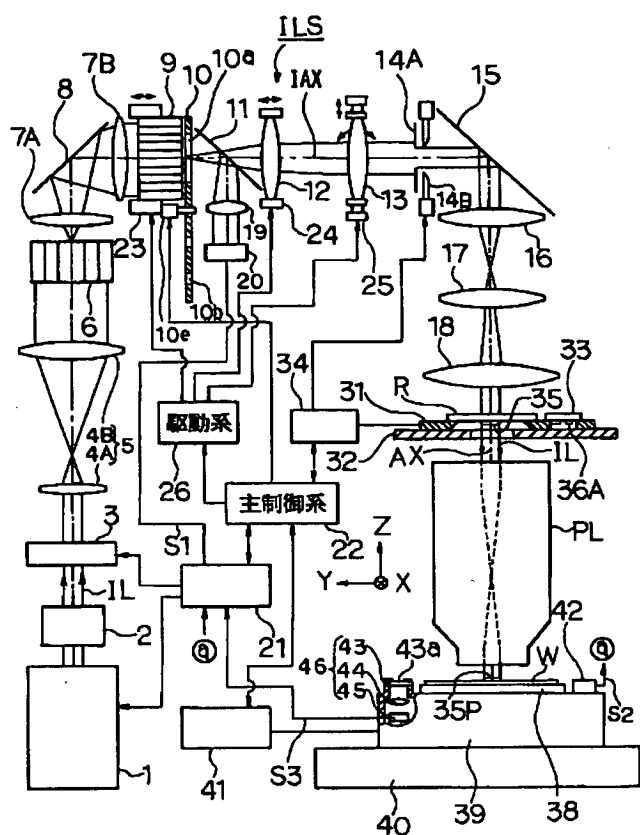
[Drawing 3]



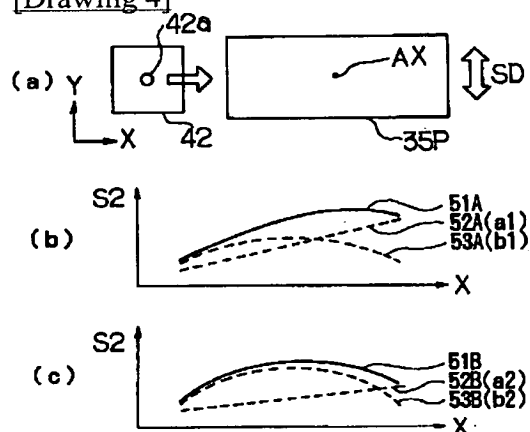
[Drawing 7]



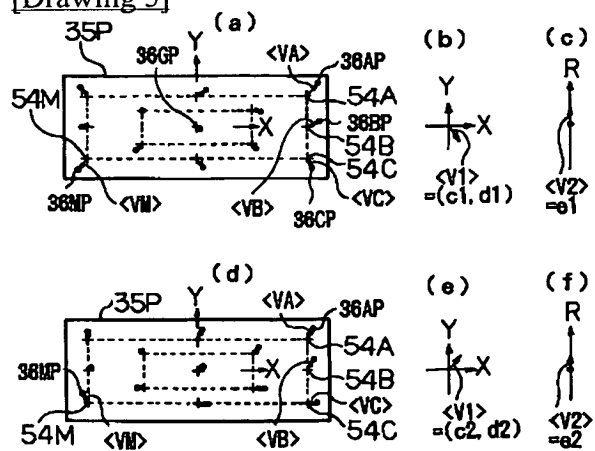
[Drawing 1]



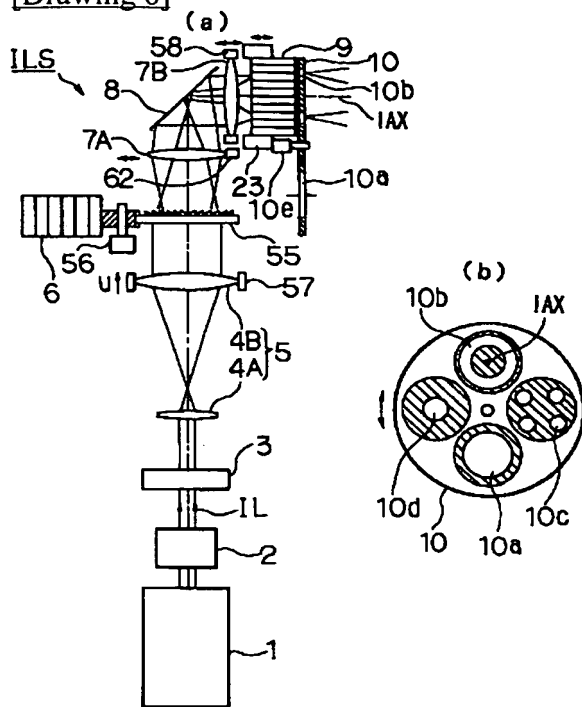
[Drawing 4]



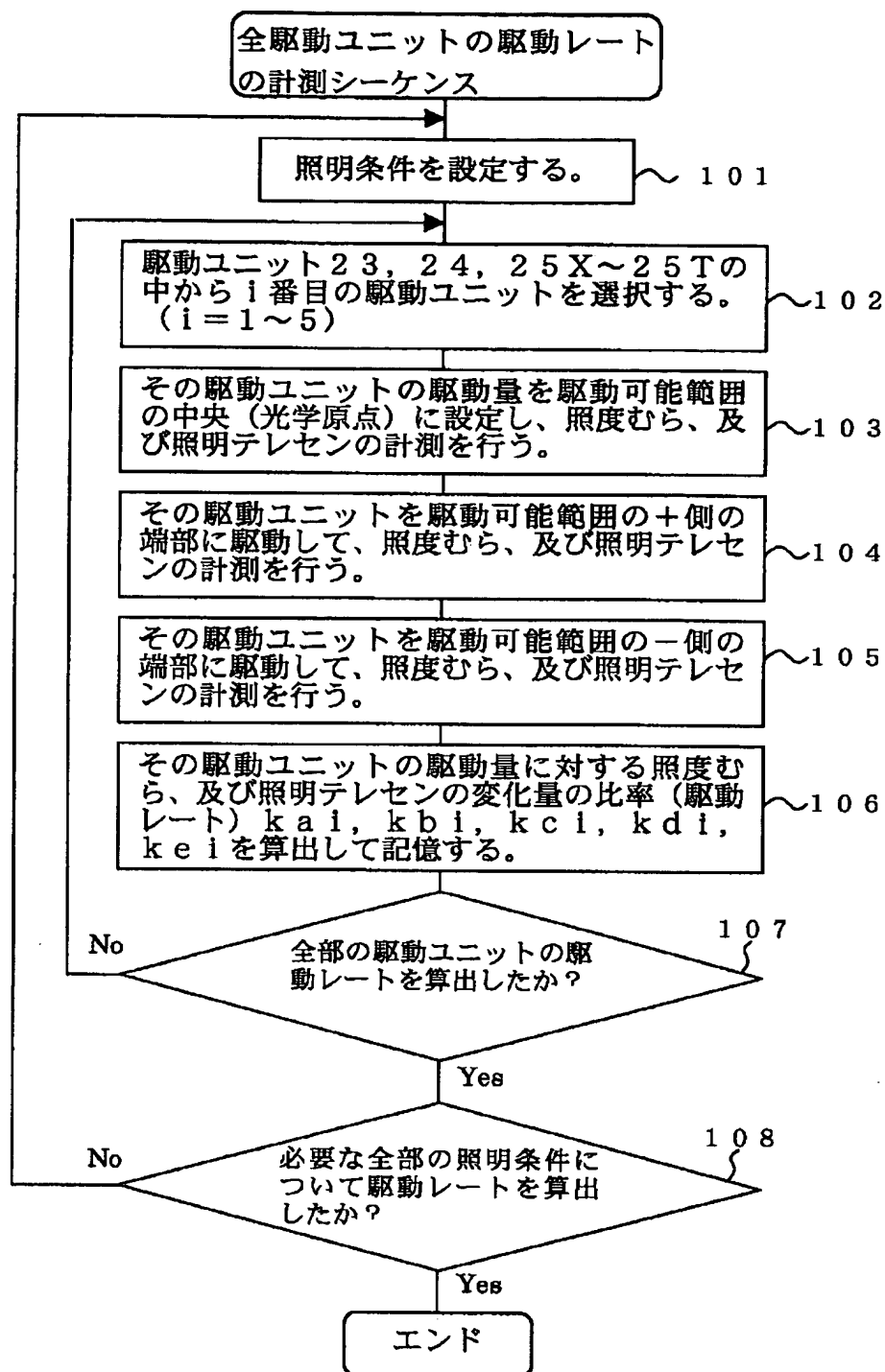
[Drawing 5]



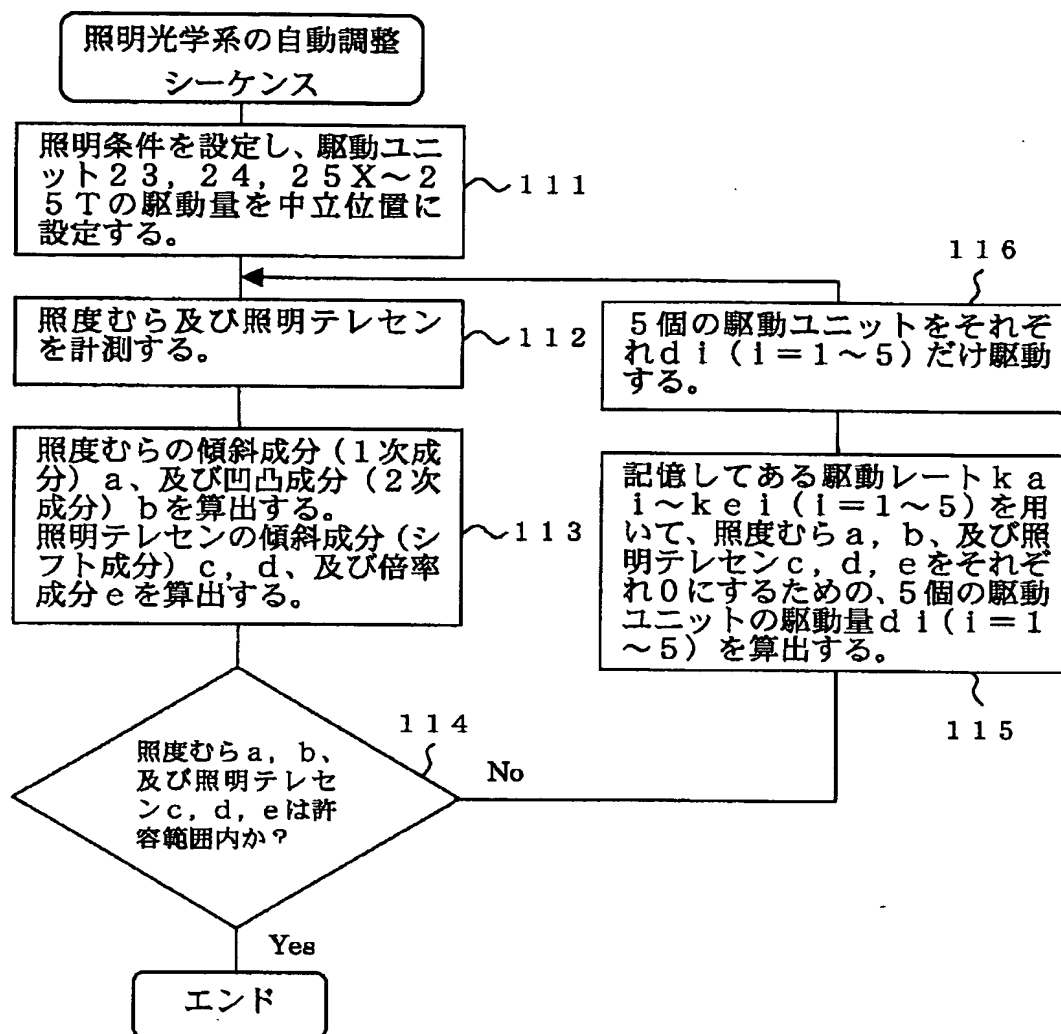
[Drawing 6]



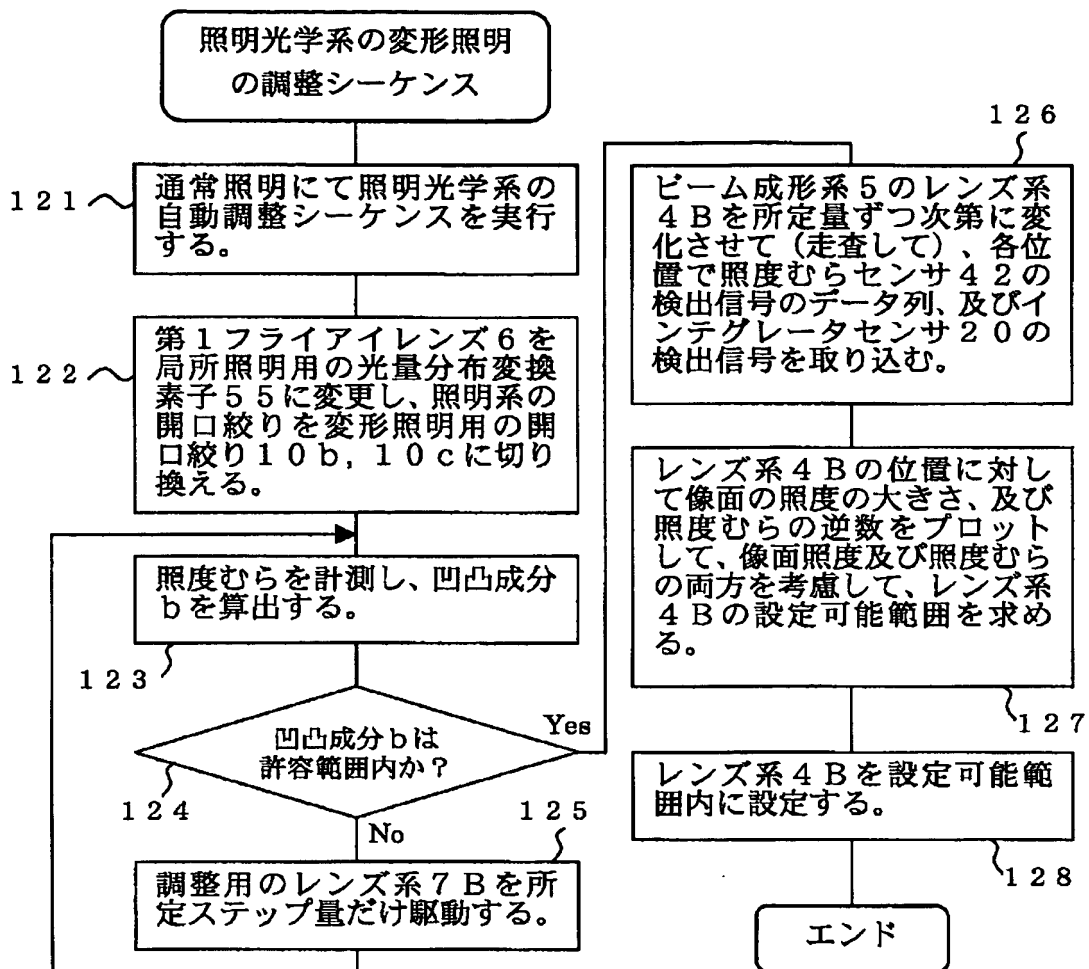
[Drawing 8]



[Drawing 9]



[Drawing 10]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-313250

(P2001-313250A)

(43) 公開日 平成13年11月9日 (2001.11.9)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

ターム(参考)

H 0 1 L 21/027

C 0 2 B 19/00

2 H 0 5 2

G 0 2 B 19/00

C 0 3 F 7/22

H 5 F 0 4 6

G 0 3 F 7/22

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

5 1 6 C

5 1 8

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2001-38326(P2001-38326)

(22) 出願日 平成13年2月15日 (2001.2.15)

(31) 優先権主張番号 特願2000-49740(P2000-49740)

(32) 優先日 平成12年2月25日 (2000.2.25)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 西永 壽

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100098165

弁理士 大森 聡

Fターム(参考) 2H052 BA02 BA09 BA12

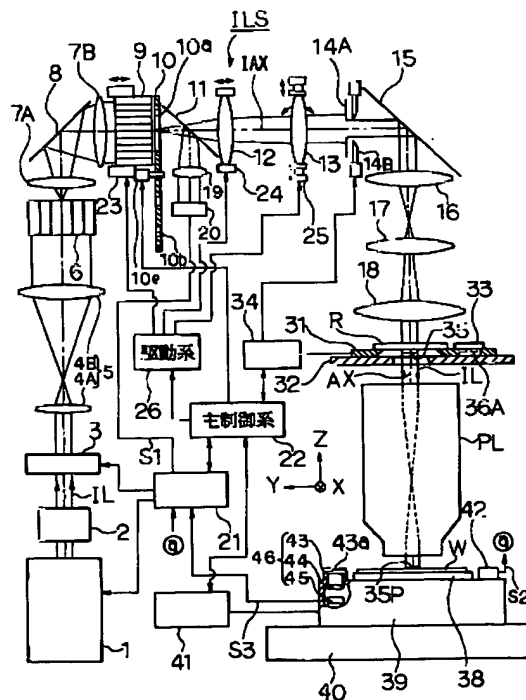
5F046 BA05 CB13 CB23 DA01 DB05

(54) 【発明の名称】 露光装置、その調整方法、及び前記露光装置を用いるデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 照明光学系の調整を短時間に正確に行うことができる露光装置を提供する。

【解決手段】 露光光源1からの露光光ILを、第1フライアイレンズ6、第2フライアイレンズ9、レンズ系12、13、ブラインド14A、14B、及びコンデンサレンズ系17、18等よりなる照明光学系ILSを介してレチクルRに照射し、レチクルRのパターンの像を投影光学系PLを介してウエハW上に投影する。レチクルステージ31上の評価マーク板33、及びウエハステージ39に設けられた空間像計測系46等を用いて所定の照明特性を計測し、この計測値に基づいて駆動ユニット23、24、25を介して第2フライアイレンズ9、及びレンズ系12、13の状態を調整する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 露光ビームで第1物体を照明する照明系を備え、前記露光ビームで前記第1物体を介して第2物体を露光する露光装置において、前記照明系中に配置されて、前記露光ビームの照明条件を複数の照明条件の何れかに切り換える照明条件切り換え系と、前記複数の照明条件のそれぞれに応じて前記照明系の所定の照明特性を制御するために、前記照明系中の所定の光学部材の状態を調整する調整系とを設けたことを特徴とする露光装置。

【請求項2】 前記照明特性は、前記露光ビームの照度むら、及び前記露光ビームのテレセントリック性の崩れ量の少なくとも一方であることを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項3】 前記照明特性は、前記露光ビームの照度むらの傾斜成分及び凹凸成分、並びに前記露光ビームのテレセントリック性の崩れ量の傾斜成分及び倍率成分であることを特徴とする請求項2に記載の露光装置。

【請求項4】 前記照明系の前記照明特性を計測する特性計測系と、該特性計測系の計測結果に基づいて、前記調整系の駆動量と前記照明特性の変化量との関係を求めて記憶する演算制御系とを有することを特徴とする請求項1、2、又は3に記載の露光装置。

【請求項5】 露光ビームで第1物体を照明する照明系を備え、前記露光ビームで前記第1物体を介して第2物体を露光する露光装置において、前記照明系の所定の照明特性を計測する特性計測系と、該特性計測系の計測結果に応じて前記照明系中の所定の光学部材の状態を調整する調整系とを設けたことを特徴とする露光装置。

【請求項6】 前記照明系は、オプティカル・インテグレータを有し、前記調整系は、前記オプティカル・インテグレータの光軸方向の位置を調整することを特徴とする請求項1～5の何れか一項に記載の露光装置。

【請求項7】 前記照明系は、前記オプティカル・インテグレータを通過した前記露光ビームを前記第1物体の被照射面、又はこれと共役な面に導く第1光学系、及び第2光学系を更に有し、前記調整系は、前記オプティカル・インテグレータの光軸方向の位置、前記第1光学系の光軸方向の位置、並びに前記第2光学系の光軸に垂直な方向の位置及びチルト角を調整することを特徴とする請求項6に記載の露光装置。

【請求項8】 前記照明系は、前記露光ビームの照度分布を変形照明用の局所的な領域に設定するための光学素子と、該光学素子からの露光ビームを導く集光光学系と、

該集光光学系からの露光ビームの照度分布を均一化するためのオプティカル・インテグレータとを有し、前記調整系は、前記集光光学系を構成する光学部材の状態を調整することを特徴とする請求項1～7の何れか一項に記載の露光装置。

【請求項9】 前記照明系は、露光光源からの露光ビームを成形して前記光学素子に導くビーム成形光学系を備え、前記露光ビームの照度の大きさ、及び前記露光ビームの照度分布のばらつきの大きさのバランスが取れるように前記調整系によって前記ビーム成形光学系の状態を調整することを特徴とする請求項8に記載の露光装置。

【請求項10】 露光ビームで第1物体を照明する照明系を備え、前記露光ビームで前記第1物体を介して第2物体を露光する露光装置において、前記照明系における前記露光ビームのテレセントリック性の崩れ量を傾斜成分と倍率成分とに分けて計測することを特徴とする露光装置。

【請求項11】 前記照明系による前記露光ビームの照度むらを傾斜成分と凹凸成分とに分けて計測することを特徴とする請求項10に記載の露光装置。

【請求項12】 前記第1物体が載置される第1可動体と、前記第2物体が載置される第2可動体とを有し、前記第1及び第2可動体を同期駆動する駆動系を更に備え、前記第1物体を介して前記露光ビームで前記第2物体を走査露光することを特徴とする請求項1～11の何れか一項に記載の露光装置。

【請求項13】 前記第2物体が配置される所定面上で前記露光ビームを検出して、前記露光ビームの照射領域内で前記走査露光時に前記第1及び第2物体が移動される走査方向と直交する非走査方向に関する照度むらの傾斜成分を計測することを特徴とする請求項12に記載の露光装置。

【請求項14】 前記露光ビームの照射領域内で、前記走査方向に関して照度又は光量を積算して得られる、前記非走査方向に関する積算分布に基づいて、前記照度むらの凹凸成分と前記非走査方向に関する傾斜成分とを決定することを特徴とする請求項13に記載の露光装置。

【請求項15】 前記第1可動体上で前記第1物体以外に設けられるマークに照射される露光ビームを検出して、その崩れ量を計測することを特徴とする請求項12、13、又は14に記載の露光装置。

【請求項16】 照明系を通る露光ビームを第1物体に照射し、前記第1物体を介して前記露光ビームで第2物体を露光する露光装置の調整方法において、前記第2物体が配置される所定面上で前記露光ビームを検出して、前記照明系のテレセントリシティと、前記露光ビームの照射領域内での照度又は光量の分布との少なくとも一方を含む照明特性を計測すると共に、前記計測された照明特性に基づいて前記照明系内の光学部材を駆



動し、前記照明特性を次に計測するまでは、前記計測された照明特性を計算にて更新すると共に、前記更新された照明特性に基づいて前記光学部材を駆動することを特徴とする露光装置の調整方法。

【請求項17】 前記第1物体が載置される第1可動体と、前記第2物体が載置される第2可動体とを同期駆動して、前記第1物体を介して前記露光ビームで前記第2物体を走査露光し、前記第1可動体上で前記第1物体以外に設けられるマークを用いて前記照明特性を計測することを特徴とする請求項16に記載の露光装置の調整方法。

【請求項18】 前記第2物体が配置される所定面上で前記露光ビームを検出して、前記露光ビームの照射領域内で前記走査露光時に前記第1及び第2物体が移動される走査方向と直交する非走査方向に関する照度むらの傾斜成分を計測することを特徴とする請求項17に記載の露光装置の調整方法。

【請求項19】 露光ビームで第1物体を照明する照明系を備え、前記露光ビームで前記第1物体を介して第2物体を露光する露光装置の調整方法において、前記照明系中の所定の光学部材の状態を複数の状態に設定して、それぞれ前記照明系の所定の照明特性の計測を行い、該計測結果に基づいて、前記光学部材の駆動量と前記照明特性の変化量との関係を求めて記憶し、該記憶された関係に基づいて、前記照明特性を制御するために前記光学部材を駆動することを特徴とする露光装置の調整方法。

【請求項20】 前記照明系の照明条件を複数の照明条件の何れかに切り換え可能にしておき、前記複数の照明条件のそれぞれに対して前記光学部材の最適位置を求めて記憶しておき、前記照明系の照明条件が切り換えられた際に、前記光学部材の位置を切り換え後の照明条件に対する最適位置に設定することを特徴とする請求項19に記載の露光装置の調整方法。

【請求項21】 請求項1～15の何れか一項に記載の露光装置を用いてデバイスパターンをワークピース上に転写する工程を含むデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、プラズマディスプレイ素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを投影光学系を介して基板上に転写するために使用される露光装置、及びこの露光装置の調整方法に関し、特に照明系の調整を自動的に行う機能を備えた露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体デバイスの集積度及び微細度の向

上に対応するため、半導体デバイスを製造するためのリソグラフィ工程（代表的にはレジスト塗布工程、露光工程、及びレジスト現像工程からなる）を担う露光装置においては、解像力、及び転写忠実度等をより高めることが要求されている。このように解像力、及び転写忠実度を高めるためには、露光ビームとしての露光光の波長を短波長化して、開口数の大きい投影光学系を使用すると共に、基板としてのウエハ上に塗布されたフォトリソを適正露光量で露光するための露光量制御を高精度に行う必要がある。そして、その投影光学系の結像特性を限界まで引き出して、フォトリソの露光量制御を高精度に行うためには、マスクとしてのレチクルを露光光で照明する照明光学系の照明特性をできるだけ高めるように、その照明光学系の最適化を行う必要がある。

【0003】露光装置の照明光学系を最適化するための調整は、従来は以下のような工程で行われていた。

(イ) オペレータが照明光学系の調整対象の照明特性（例えば照度むら）を計測する。

(ロ) その計測結果に基づいて、その照明特性に対応した駆動ユニットを用いて所定の光学部材の状態（位置又は傾斜角等）を調整する。この際の駆動量は、光学設計値をオペレータの経験に基づいて修正することによって、その照明特性をできるだけ改善するように設定される。

【0004】(ハ) その調整後に、その照明特性の残存する量を再計測し、その残存する量が許容範囲を超える際には、その駆動ユニットを介して再調整を行う。

(ニ) その調整の完了後に、その光学部材の最終的な状態（最適状態）を記憶する。

そして、複数の照明条件のそれぞれにおいて、上記の調整工程を調整対象の照明特性毎に繰り返して、対応する光学部材の最適な状態を記憶し、照明条件が切り換えられた際には、対応する光学部材をそれぞれ最適状態に設定していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記の如く従来の露光装置の照明光学系を最適化するための調整は、露光装置の組立調整時、及びメンテナンス時等にオペレータによって行われていた。しかしながら、オペレータが調整を行う場合には、調整に長い時間を要するという不都合がある。更に、複数の照明条件の全てについてそれぞれ照明光学系の調整を行う必要があるため、全体の調整時間はかなり長くなっていた。また、最適化に要する時間は、オペレータの熟練度にも左右されるため、オペレータによっては更に調整時間が長くなってしまう恐れもあった。

【0006】また、照明光学系中の複数の光学部材の状態を調整する必要がある場合には、調整に伴う相互の影響等も考慮する必要があるため、調整工程が極めて煩雑となっていた。このように従来の照明光学系の調整には

長時間の煩雑な工程を要したため、例えば製造するデバイスの要求精度等に応じて所定の照明特性の許容レベルを変化させるような運用を行うことが困難であった。また、例えば照明特性中の照度むら等は、照明光学系中の光学部材の曇り、及び硝材の劣化等によって経時的に変化する場合があるが、このような場合にも従来の調整方法では迅速に対応することが困難であった。

【0007】本発明は斯かる点に鑑み、照明光学系の調整を短時間に正確に行うことができる露光装置を提供することを第1の目的とする。更に本発明は、複数の照明条件に切り換えることができる照明光学系の調整を実質的に自動的に行うことができる露光装置を提供することを第2の目的とする。

【0008】更に本発明は、そのような露光装置の効率的な使用方法、及びその露光装置を用いた高精度なデバイス製造方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の露光装置は、露光ビームで第1物体(R)を照明する照明系(ILS)を備え、その露光ビームでその第1物体を介して第2物体(W)を露光する露光装置において、その照明系中に配置されて、その露光ビームの照明条件を複数の照明条件の何れかに切り換える照明条件切り換え系(10、10e)と、その複数の照明条件のそれぞれに応じてその照明系の所定の照明特性を制御するために、その照明系中の所定の光学部材(9、12、13)の状態を調整する調整系(23、24、25)とを設けたものである。

【0010】斯かる本発明によれば、その照明条件切り換え系によって照明条件を切り換えた際には、切り換え後の照明条件に応じてその調整系を介してその光学部材の状態(光軸方向の位置、光軸に垂直な方向の位置、及びチルト角等)を調整する。これによって、複数の照明条件に対してそれぞれ実質的に自動的に照明系の所定の照明特性を所望の状態に制御できる。

【0011】この場合、その評価対象の所定の照明特性の一例は、その露光ビームの照度むら、及びその露光ビームのテレセントリック性の崩れ量の少なくとも一方である。これらは共にその第2物体上で高い解像度を得るために極めて重要な特性である。更に、その評価対象の照明特性を、その露光ビームの照度むらの傾斜成分及び凹凸成分、並びにその露光ビームのテレセントリック性の崩れ量の傾斜成分(2次元のベクトル量)及び倍率成分とすることが望ましい。この5つの照明特性の成分は、その照明系中の複数の光学部材を互いに独立に駆動することによって容易にほぼ単独に制御できるため、特に自動化を容易に行うことができる。

【0012】なお、ここでは、露光ビームのテレセントリック性の崩れ量は、照明系(又は照明光学系)のテレセントリシティである。また、その照明系のその照明特

性を計測する特性計測系(33、46、42)と、この特性計測系の計測結果に基づいて、その調整系の駆動量とその照明特性の変化量との関係を求めて記憶する演算制御系(22)とを有することが望ましい。その照明特性が経時的に変化する場合には、例えば定期的にその特性計測系でその照明特性を計測する、或いは先に記憶した関係を計算(シミュレーション)にて更新する、又は両者を併用する(即ち、定期的な照明特性の計測の間は計算にて上記関係を更新する)と共に、これに基づいてその調整系を駆動することによって、その照明特性を迅速に所望の状態に戻すことができる。

【0013】次に、本発明の第2の露光装置は、露光ビームで第1物体(R)を照明する照明系(ILS)を備え、その露光ビームでその第1物体を介して第2物体(W)を露光する露光装置において、その照明系の所定の照明特性を計測する特性計測系(33、46、42)と、この特性計測系の計測結果に応じてその照明系中の所定の光学部材の状態を調整する調整系(23、24、25)とを設けたものである。

【0014】斯かる本発明によれば、例えば空間像計測系等を備えたその特性計測系の計測結果に基づいてその調整系を駆動することによって、その照明系の調整を短時間に正確に行うことができる。これらの本発明において、その照明系が、オプティカル・インテグレータ(9)(ユニフォマイザ、又はホモジナイザ)と、そのオプティカル・インテグレータを通過したその露光ビームをその第1物体の被照射面、又はこれと共役な面に導く第1光学系(12)、及び第2光学系(13)とを有する場合、これらの光学部材の状態を次のように調整することで、それぞれ以下の照明特性を実質的に互いに独立に制御できる。

【0015】(a1)オプティカル・インテグレータ(9)の光軸方向の位置調整：露光ビームのテレセントリック性の崩れ量の倍率成分、(b1)第1光学系の光軸方向の位置調整：照度むらの凹凸成分、(c1)第2光学系の光軸に垂直な方向の2次元の位置調整：露光ビームのテレセントリック性の崩れ量の傾斜成分(2次元のベクトル量)、(d1)第2光学系のチルト角：照度むらのそのチルトする方向の傾斜成分。そのチルトする方向は、走査露光方式の露光装置の場合には、走査方向に直交する非走査方向に対応することが望ましい。これは走査方向では積分効果によって照度むらが平均化されるのに対して、非走査方向では平均化効果が生じないためにそのチルトによって補正することが望ましいからである。

【0016】また、上記の本発明において、その照明系がその露光ビームの照度分布を変形照明用の局所的な領域に設定するための光学素子(55)と、露光光源からの露光ビームをその光学素子に導くビーム成形光学系(5)と、その光学素子(55)からの露光ビームを導

く集光光学系(7A, 7B)と、この集光光学系からの露光ビームの照度分布を均一化するためのオプティカル・インテグレータ(9)(ユニフォマイザ、又はホモジナイザ)とを備える場合、その調整系は、その集光光学系、又はそのビーム成形光学系の状態を調整することが望ましい。

【0017】この際に、例えばその露光ビームの照度の大きさ、及びその露光ビームの照度分布のばらつきの大きさのバランスが取れるようにそのビーム成形光学系を調整することによって、露光ビームの損失を最小にした上で照度むらを小さくすることができる。また、本発明の第3の露光装置は、露光ビームで第1物体(R)を照明する照明系(ILS)を備え、その露光ビームでその第1物体を介して第2物体(W)を露光する露光装置において、その照明系におけるその露光ビームのテレセントリック性の崩れ量を傾斜成分と倍率成分とに分けて計測するものである。このように傾斜成分と倍率成分とに分けることで、調整をほぼ互いに独立に容易に行うことができる。

【0018】上記の本発明の露光装置において、その第1物体が載置される第1可動体(31)と、その第2物体が載置される第2可動体(39)とを有し、その第1及び第2可動体を同期駆動する駆動系(34, 41)を更に備え、その第1物体を介してその露光ビームでその第2物体を走査露光するようにしてもよい。この場合、その第2物体が配置される所定面上でその露光ビームを検出して、その露光ビームの照射領域内でその走査露光時にその第1及び第2物体が移動される走査方向と直交する非走査方向に関する照度むらの傾斜成分を計測することが望ましい。走査露光を行う場合には、走査方向の照度むらは平均化効果で低減されるため、非走査方向の照度むらを計測することで、計測装置を簡素化できる。

【0019】また、その第1可動体上でその第1物体以外に設けられるマーク(36A)に照射される露光ビームを検出して、その崩れ量を計測するようにしてもよい。これによってその第1物体(マスク等)のパターンに依らずに、必要に応じて照明特性を計測することができる。次に、本発明の第1の露光装置の調整方法は、照明系(ILS)を通る露光ビームを第1物体(R)に照射し、その第1物体を介してその露光ビームで第2物体(W)を露光する露光装置の調整方法において、その第2物体が配置される所定面上でその露光ビームを検出して、その照明系のテレセントリシティと、その露光ビームの照射領域内での照度又は光量の分布との少なくとも一方を含む照明特性を計測すると共に、その計測された照明特性に基づいてその照明系内の光学部材(9, 12, 13)を駆動し、その照明特性を次に計測するまでは、その計測された照明特性を計算にて更新すると共に、その更新された照明特性に基づいてその光学部材を駆動するものである。

【0020】斯かる本発明によれば、その照明特性の計測頻度を少なくして、その照明系の照明特性を短時間に高精度に調整できる。この場合、その第1物体が載置される第1可動体(31)と、その第2物体が載置される第2可動体(39)とを同期駆動して、その第1物体を介してその露光ビームでその第2物体を走査露光し、その第1可動体上でその第1物体以外に設けられるマーク(36A)を用いてその照明特性を計測するようにしてもよい。

【0021】更に、その第2物体が配置される所定面上でその露光ビームを検出して、その露光ビームの照射領域内でその走査露光時にその第1及び第2物体が移動される走査方向と直交する非走査方向に関する照度むらの傾斜成分を計測するようにしてもよい。走査露光方式の場合には、走査方向の照度むらは平均化効果で低減されるため、非走査方向の成分を計測することで、計測工程を簡素化して、必要な照明特性を効率的に計測できる。

【0022】次に、本発明の第2の露光装置の調整方法は、露光ビームで第1物体を照明する照明系(ILS)を備え、その露光ビームでその第1物体を介して第2物体を露光する露光装置の調整方法において、その照明系中の所定の光学部材(9, 12, 13)の状態を複数の状態に設定して、それぞれその照明系の所定の照明特性の計測を行い、この計測結果に基づいて、その光学部材の駆動量とその照明特性の変化量との関係(比率等)を求めて記憶し、この記憶された関係に基づいて、その照明特性を制御するためにその光学部材を駆動するものである。本発明によれば、予めその光学部材の駆動量とその照明特性の変化量との関係を求めておくことで、照明特性を効率的に調整できる。

【0023】また、本発明のデバイス製造方法は、本発明の露光装置を用いてデバイスパターン(R)をワークピース(W)上に転写する工程を含むものである。本発明によって集積度の高いデバイスを高精度に量産することができる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、ステップ・アンド・スキャン方式又はステップ・アンド・スティッチ方式の走査露光型の投影露光装置に本発明を適用したものである。図1は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図1において、露光光源1としてはArFエキシマレーザ光源(波長193nm)が使用されている。但し、露光光源1としては、KrFエキシマレーザ(波長248nm)、F<sub>2</sub>レーザ(波長157nm)、Kr<sub>2</sub>レーザ(波長146nm)、YAGレーザの高調波発生装置、半導体レーザの高調波発生装置、又は水銀ランプ等を使用することができる。露光光源1からの波長193nmの紫外パルス光よりなる露光光IL(露光ビーム)は、露光装置本体との間で光路を位置的にマッチン

グさせるためのビームマッチングユニット (BMU) 2 を通り、光アッテネータとしての可変減光器 3 に入射する。ウエハ上のフォトレジストに対する露光量を制御するための露光制御ユニット 21 が、露光光源 1 の発光の開始及び停止、並びに出力 (発振周波数、パルスエネルギー) を制御すると共に、可変減光器 3 における減光率を段階的、又は連続的に調整する。

【0025】可変減光器 3 を通った露光光 IL は、所定の光軸に沿って配置される第 1 レンズ系 4 A 及び第 2 レンズ系 4 B よりなるビーム成形系 5 を経て第 1 段のオプティカル・インテグレータ (ユニフォマイザ、又はホモジナイザ) としての第 1 フライアイレンズ 6 に入射する。この第 1 フライアイレンズ 6 から射出された露光光 IL は、第 1 レンズ系 7 A、光路折り曲げ用のミラー 8、及び第 2 レンズ系 7 B を介して第 2 段のオプティカル・インテグレータとしての第 2 フライアイレンズ 9 に入射する。第 1 レンズ系 7 A 及び第 2 レンズ系 7 B より集光光学系としてのリレー光学系 (又はビーム成形系とも呼ぶことができる) が構成されている。

【0026】第 2 フライアイレンズ 9 の射出面、即ち露光対象のレチクル R のパターン面 (レチクル面) に対する光学的なフーリエ変換面 (照明系の瞳面) には開口絞り板 10 が、駆動モータ 10 e によって回転自在に配置されている。開口絞り板 10 には、図 6 (b) に正面図で示すように、通常照明用の円形の開口絞り 10 a、変形照明の一例としての輪帯照明用の開口絞り 10 b、変形照明の別の例としての変形光源 (又はいわゆる傾斜照明) 用の複数の (本例では 4 個) の偏心した小開口よりなる開口絞り 10 c、及び小さいコヒーレンスファクタ ( $\sigma$  値) 用の小円形の開口絞り 10 d が切り換え自在に配置されている。開口絞り 10 c は、4 極照明用の開口絞りとも言うことができる。開口絞り板 10 及び駆動モータ 10 e より照明条件を複数の照明条件 (通常照明、変形照明、及び小  $\sigma$  値照明) の何れかに切り換える「照明条件切り換え系」が構成されており、装置全体の動作を統轄制御する主制御系 22 が駆動モータ 10 e を介して照明条件を設定する。

【0027】図 1 において、第 2 フライアイレンズ 9 の射出面に通常照明用の開口絞り 10 a が設置されており、第 2 フライアイレンズ 9 から射出されて開口絞り 10 a を通過した露光光 IL は、透過率が高く反射率が低いビームスプリッタ 11 に入射する。ビームスプリッタ 11 で反射された露光光は、集光用のレンズ 19 を介して光電検出器よりなるインテグレータセンサ 20 に入射し、インテグレータセンサ 20 の検出信号 S1 は露光制御ユニット 21 に供給されている。インテグレータセンサ 20 の検出信号と被露光基板としてのウエハ W 上での露光光 IL の照度との関係は予め高精度に計測されて、露光制御ユニット 21 内のメモリに記憶されている。露光制御ユニット 21 は、インテグレータセンサ 20 の検

出信号より間接的にウエハ W に対する露光光 IL の照度 (平均値)、及びその積分値をモニタできるように構成されている。

【0028】ビームスプリッタ 11 を透過した露光光 IL は、光軸 IAX に沿って第 1 レンズ系 12 (第 1 光学系) 及び第 2 レンズ系 13 (第 2 光学系) を経て順次、固定ブラインド (固定照明視野絞り) 14 A 及び可動ブラインド (可動照明視野絞り) 14 B に入射する。後者の可動ブラインド 14 B はレチクル面に対する共役面に設置され、前者の固定ブラインド 14 A はその共役面から所定量だけデフォーカスした面に配置されている。固定ブラインド 14 A は、例えば特開平 4-196513 号公報に開示されているように、投影光学系 PL の円形視野内で光軸 AX をほぼ中心とし、走査露光時にレチクル R 及びウエハ W が移動される走査方向 (Y 方向) と直交する非走査方向 (X 方向) に直線スリット状、又は矩形状 (以下、まとめて「スリット状」と言う) に伸びるように配置された開口部を有する。即ち、固定ブラインド 14 A は、本例では露光光 IL が照射されるレチクル R 上の照明領域 35、及びウエハ W 上の露光領域 35 P (投影光学系 PL に関して照明領域 35 と共役で、照明領域 35 内のパターン像が形成される投影領域) を規定すると共に、少なくとも走査方向に関する幅が固定である開口部を有する。

【0029】更に、可動ブラインド 14 B は、ウエハ W 上の各ショット領域への走査露光の開始時及び終了時に不要な露光を防止するために、固定ブラインド 14 A によって規定される照明領域 35、及び露光領域 35 P の走査方向の幅を変化させるために使用される。可動ブラインド 14 B は、更に走査方向 SD と直交した方向 (非走査方向) に関してレチクル R のパターン領域のサイズに応じてその幅を変化させるために使用される。可動ブラインド 14 B の開口率の情報は露光制御ユニット 21 にも供給され、インテグレータセンサ 20 の検出信号から求められる照度にその開口率を乗じた値が、ウエハ W 上の実際の照度となる。なお、固定ブラインド 14 A 及び可動ブラインド 14 B はその配置が図 1 に限定されるものではなく、例えば固定ブラインド 14 A を、レチクル R と照明光学系との間でレチクル R に近接させて配置してもよい。

【0030】露光時に固定ブラインド 14 A を通過した露光光 IL は、光路折り曲げ用のミラー 15、結像用のレンズ系 16、副コンデンサレンズ系 17、及び主コンデンサレンズ系 18 を介して、マスクとしてのレチクル R のパターン面 (下面) の照明領域 (照明視野領域) 35 を照明する。露光光 IL のもとで、レチクル R の照明領域内の回路パターン像が両側テレセントリックな投影光学系 PL を介して所定の投影倍率  $\beta$  ( $\beta$  は例えば 1/4、1/5 等) で、投影光学系 PL の結像面に配置された基板 (被露光基板) としてのウエハ W 上のフォト

ジスト層のスリット状の露光領域35Pに転写される。レチクルR及びウエハWがそれぞれ本発明の第1物体及び第2物体に対応しており、ウエハ(wafer)Wは例えば半導体(シリコン等)又はSOI(silicon on insulator)等の円板状の基板である。本例の投影系としての投影光学系PLは、ジオプトリック系(屈折系)であるが、カタジオプトリック系(反射屈折系)や反射系も使用できることは言うまでもない。以下、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で走査方向(ここでは図1の紙面に平行な方向)にY軸を取り、走査方向に直交する非走査方向(ここでは図1の紙面に垂直な方向)にX軸を取って説明する。

【0031】図1において、露光源1、ビームマッチングユニット2、可変減光器3、ビーム成形系5、第1フライアイレンズ6、第1レンズ系7A、第2レンズ系7B、第2フライアイレンズ9、第1レンズ系12、第2レンズ系13、固定ブラインド14A、可動ブラインド14B、結像レンズ系16、副コンデンサレンズ系17、及び主コンデンサレンズ系18等より照明光学系ILSが構成され、照明光学系ILSが本発明の照明系に対応している。そして、照明光学系ILSの光軸IAXは、レチクルR上で投影光学系PLの光軸AXと合致している。本例では、第2フライアイレンズ9、第1レンズ系12、及び第2レンズ系13にそれぞれ第1駆動ユニット23、第2駆動ユニット24、及び駆動ユニット群25が装着されている。

【0032】図2は、図1の第2フライアイレンズ9から第2レンズ系13までの光学系と、照明領域35との関係を示す斜視図であり、この図2において、照明領域35に対するレチクルの走査方向SD(Y方向)、及び非走査方向(X方向)に対応する第2フライアイレンズ9上での方向をそれぞれy方向及びx方向としている。そして、第1駆動ユニット23は第2フライアイレンズ9の光軸IAX方向(矢印A1の方向)の位置を調整し、第2駆動ユニット24は第1レンズ系12の光軸IAXの方向(矢印A2の方向)の位置を調整する。また、図1の駆動ユニット群25は、図2の第3の駆動ユニット25X、第4の駆動ユニット25Y、及び第5の駆動ユニット25Tより構成され、駆動ユニット25X及び25Yはそれぞれ第2レンズ系13の光軸IAXに垂直なx方向(矢印A3の方向)及びy方向(矢印A4の方向)の位置を調整し、駆動ユニット25Tは、第2レンズ系13の光軸IAXを通りy軸に平行な軸の回り(矢印A5の方向)のチルト角を調整する。駆動ユニット25Tは、照明領域35の非走査方向に対応する方向で第2レンズ系13のチルト角(傾斜角)を調整することも言うことができる。

【0033】駆動ユニット23～25Tとしては、例えば電気式のマイクロメータ、又はピエゾ素子等の駆動素子で駆動対象の光学部材のフランジ部を変位させる駆動

装置を使用することができる。この場合、駆動ユニット23～25Tにはそれぞれ駆動可能範囲(駆動ストローク)内での光学部材の変位量を示すエンコーダ(ロータリエンコーダ等)(不図示)が組み込まれており、これらのエンコーダの検出信号が図1の駆動系26に供給され、その検出信号、及び主制御系22からの駆動情報に基づいて駆動系26は駆動ユニット23～25Tを介して第2フライアイレンズ9、第1レンズ系12、及び第2レンズ系13の状態を制御する。なお、駆動ユニット23～25T用のエンコーダとして、例えば静電容量センサなどを用いてもよい。

【0034】また、本例では変形照明を行う場合に図6(a)に示すように、交換装置56を用いて第1フライアイレンズ6を回折光学素子(Diffractive Optical Element:DOE)よりなる光量分布変換素子55で交換できるように構成されている。光量分布変換素子55が、露光ビームを局所的な領域に設定するための光学素子に対応している。

【0035】図6(a)において、変形照明を行う場合には、一例として第2フライアイレンズ9の射出面に輪帯状の開口絞り10b(又は4極照明用の開口絞り10c)が設置され、光量分布変換素子55は、回折効果によって露光ILを第2フライアイレンズ9の入射面のほぼ輪帯状の領域に集光する。光量分布変換素子55も照明光学系ILSに含まれている。これによって、露光ILの利用効率が高められて、変形照明を行う場合にもウエハ上で高い照度を得られる。この際に、第2レンズ系7Bの光軸IAX方向の位置を調整するための駆動ユニット58、第1レンズ系7Aの光軸に垂直な2次元方向の位置を調整するための駆動ユニット62、及びビーム成形系5の第2レンズ系4Bの光軸IAX方向の位置uを調整するための駆動ユニット57が使用される。電気式のマイクロメータ等から構成される駆動ユニット57、58、62にもそれぞれエンコーダが備えられ、これらのエンコーダの検出信号、及び図1の主制御系22の駆動情報に基づいて、駆動系26が駆動ユニット57、58、62を介して第2レンズ系57、第2レンズ系7B、及び第1レンズ系7Aの状態を制御できるように構成されている。

【0036】なお、第2フライアイレンズ9の入射面上での照射領域(強度分布)が異なる露光ILを発生する複数の光量分布変換素子(回折光学素子)を交換装置56に設け、照明条件(即ち、照明光学系の瞳面上での露光ILの強度分布、本例では照明光路内に配置される複数の開口絞り10a～10dの1つ)に応じて、最も露光ILの利用効率が高くなる光量分布変換素子を選択して照明光路内に配置するようにしてもよい。このとき、第1フライアイレンズ6を交換装置56に設けなくてもよい。

【0037】図1に戻り、レチクルRは、レチクルステ

ージ31上に吸着保持され、レチクルステージ31は、レチクルベース32上にY方向に等速移動できると共に、X方向、Y方向、回転方向に微動できるように載置されている。レチクルステージ31（レチクルR）の2次元的位置、及び回転角は駆動制御ユニット34内のレーザ干渉計によってリアルタイムに計測されている。この計測結果、及び主制御系22からの制御情報に基づいて、駆動制御ユニット34内の駆動モータ（リニアモータやボイスコイルモータ等）は、レチクルステージ31の走査速度、及び位置の制御を行う。また、レチクルステージ31のレチクルRの近傍にガラス基板よりなる評価マーク板33が固定されている。

【0038】図3（a）は図1のレチクルステージ31を示す平面図であり、この図3（a）において、レチクルステージ31のレチクルRに対して走査方向SD（Y方向）に隣接する領域の開口上に評価マーク板33が固定され、評価マーク板33のほぼ照明領域35と同じ大きさの領域内に、ほぼ均一な分布で一例として13個の2次元の同一の評価用マーク36A、36B、…36Mが形成されている。評価用マーク36Aは、X方向に所定ピッチで配列されたライン・アンド・スペースパターンよりなるX軸のマーク37Xと、Y方向に所定ピッチで配列されたライン・アンド・スペースパターンよりなるY軸のマーク37Yとを組み合わせた2次元マークであるが、この他にボックス・イン・ボックスマーク等も使用することができる。本例では、後述のように露光光ILのテレセントリック性の崩れ量、即ち照明光学系のテレセントリシティを計測する際に、レチクルステージ31をY方向に駆動して、評価マーク板33の中心（評価用マーク36Gの中心）を照明領域35の中心（光軸AX）に合わせて、評価用マーク36A、36B、…36Mの像を投影光学系PLを介してウエハ側に投影する。評価用マーク36Aの像36APが図3（b）の拡大図に示されている。

【0039】図1に戻り、ウエハWは、ウエハホルダ38を介してウエハステージ39上に吸着保持され、ウエハステージ39は、ウエハベース40上で投影光学系PLの像面と平行なXY平面に沿って2次元移動する。即ち、ウエハステージ39は、ウエハベース40上でY方向に一定速度で移動すると共に、X方向、Y方向にステップ移動する。更に、ウエハステージ39には、ウエハWのZ方向の位置（フォーカス位置）、及びX軸及びY軸の回りの傾斜角を制御するZレベリング機構も組み込まれており、ウエハWの表面の複数の計測点でフォーカス位置を計測するための多点のオートフォーカスセンサ（不図示）も設けられている。露光時には、そのオートフォーカスセンサの計測値に基づいてオートフォーカス方式でZレベリング機構を駆動することで、ウエハWの表面が投影光学系PLの像面に合焦される。また、照明特性の計測時には、一例としてそのオートフォーカスセ

ンサの計測値に基づいて、ウエハステージ39内のZレベリング機構を駆動することによって、ウエハステージ39の上面のフォーカス位置を任意の量だけ制御することができる。

【0040】ウエハステージ39のX方向、Y方向の位置、及びX軸、Y軸、Z軸の回りの回転角は駆動制御ユニット41内のレーザ干渉計によってリアルタイムに計測されている。この計測結果及び主制御系22からの制御情報に基づいて、駆動制御ユニット41内の駆動モータ（リニアモータ等）は、ウエハステージ39の走査速度、及び位置の制御を行う。

【0041】主制御系22は、レチクルステージ31、及びウエハステージ39のそれぞれの移動位置、移動速度、移動加速度、位置オフセット等の各種情報を駆動制御ユニット34及び41に送る。そして、走査露光時には、レチクルステージ31を介して露光光ILの照明領域35に対してレチクルRが+Y方向（又は-Y方向）に速度Vrで走査されるのに同期して、ウエハステージ39を介してレチクルRのパターン像の露光領域35Pに対してウエハWが-Y方向（又は+Y方向）に速度 $\beta \cdot Vr$ （ $\beta$ はレチクルRからウエハWへの投影倍率）で走査される。この際の走査露光の開始時及び終了時に不要な部分への露光を防止するために、駆動制御ユニット34によって可動ブラインド14Bの開閉動作が制御される。

【0042】更に主制御系22は、ウエハW上の各ショット領域のフォトレジストを適正露光量で走査露光するための各種露光条件を露光データファイルより読み出して、露光制御ユニット21とも連携して最適な露光シーケンスを実行する。即ち、ウエハW上の1つのショット領域への走査露光開始の指令が主制御系22から露光制御ユニット21に発せられると、露光制御ユニット21は露光光源1の発光を開始すると共に、インテグレートセンサ20を介してウエハWに対する露光光ILの照度（単位時間当たりのパルスエネルギーの和）の積分値を算出する。その積分値は走査露光開始時に0にリセットされている。そして、露光制御ユニット21では、その照度の積分値を逐次算出し、この結果に応じて、走査露光後のウエハW上のフォトレジストの各点で適正露光量が得られるように、露光光源1の出力（発振周波数、及びパルスエネルギー）及び可変減光器3の減光率を制御する。そして、当該ショット領域への走査露光の終了時に、露光光源1の発光が停止される。

【0043】さて、本例のウエハステージ39上のウエハホルダ38の近傍には、光電検出器よりなりピンホール状の受光部42a（図4（a）参照）を有する照度むらセンサ42が設置され、照度むらセンサ42の検出信号S2も露光制御ユニット21に供給されている。なお、照度むらセンサ42はピンホール状の受光部42aの代わりに、或いはそれと組み合わせて、例えば露光領

域35Pに対するウエハWの走査方向(Y方向)に沿って延びる、ラインセンサ或いはCCDなどからなる受光部を用いてもよい。この場合、露光領域35P内で走査方向と直交する非走査方向(X方向)の各位置で、走査方向に関して照度を積算し、この積算値に基づいて非走査方向に関する照度分布を求めてもよく、これによって、走査露光による走査方向の照度むらの平均化効果を加味した非走査方向の照度分布(照度むら)、即ち走査露光後のウエハ上での非走査方向に関する露光量分布(露光量むら)を得ることができる。従って、この計測結果を用いて後述する照明特性の最適化(照度むらの補正)を行うようにしてもよい。なお、照度計測時にウエハステージ39を2次元移動することにより、ピンホール状の受光部42aを用いても同様の照度分布を求めることが可能である。

【0044】また、不図示であるが、露光領域35Pの全体を覆う受光部を有する照射量モニタも設置され、この照射量モニタの検出信号とインテグレータセンサ20の検出信号とに基づいて、インテグレータセンサ20の検出信号からウエハW上の照度を間接的に求めるための係数が算出される。更に、ウエハステージ39上のウエハホルダ38の近傍には、ガラス基板よりなる走査板43が設置され、走査板43上の遮光膜中にはほぼ正方形の開口パターン43aが形成されている。そして、ウエハステージ39中の走査板43の底面側に集光レンズ44、及び光電検出器45が配置され、走査板43、集光レンズ44、及び光電検出器45より空間像計測系46が構成され、光電検出器45の検出信号S3は露光制御ユニット21内の演算部に供給されている。

【0045】なお、空間像計測系46はその一部(例えば、本例では走査板43と、集光レンズ44などを含む送光系の少なくとも一部を含む)のみをウエハステージ39に設け、残りの構成要素(光電検出器45など)をウエハステージ39の外部に配置してもよい。また、空間像計測系46は走査板43に1つの開口パターン43aのみが形成され、後述する照明特性の計測時には、ウエハステージ39を2次元的にステッピングさせると共に、照明領域35内に配置される複数(本例では13個)の評価用マークの像の各々に対して、開口パターン43aを走査方向及び非走査方向(Y方向及びX方向)にそれぞれ相対移動するが、例えばその複数の評価用マークと同数の開口パターン43aを走査板43に形成し、走査方向に関する評価用マークの像と開口パターンとの相対移動時と、非走査方向に関する評価用マークの像と開口パターンとの相対移動時にそれぞれその複数の評価用マークの像を一括検出してもよい。

【0046】更に、その複数の評価用マークのうち、例えば非走査方向に離れる複数(本例では5個)の評価用マークと同数の開口パターン43aを非走査方向に沿って走査板43に形成し、ウエハステージ39を走査方向

に移動して、各開口パターン毎に、走査方向に配列される各評価用マークの像を連続して検出してもよいし、これとは逆に、走査方向に関して評価用マークと同数の開口パターン43aを走査板43に形成し、ウエハステージ39を非走査方向に移動して、各開口パターン毎に評価用マークの像を連続して検出してもよい。このとき、その複数の評価用マークの検出中に照明領域35の一部のみに露光光ILが照射されるように、ウエハステージ39の移動に応じて可動ブラインド14Bを駆動することが好ましい。なお、前者の方法では非走査方向に関して評価用マークの像と開口パターンとを相対移動するときに、ウエハステージ39を走査方向にステッピングさせる必要があり、後者の方法では走査方向に関して評価用マークの像と開口パターンとを相対移動するときに、ウエハステージ39を非走査方向にステッピングさせる必要があるため、両者を組み合わせて、ウエハステージ39を走査方向と非走査方向とに1回ずつ移動させるだけでもよい。

【0047】例えば図3(a)、(b)に示すように、評価用マーク36Aの像36APのY方向の位置を計測する場合には、像36APの手前に走査板43の開口パターン43aを移動した後、ウエハステージ39を駆動して開口パターン43aで像36APを走査する。この際に、露光制御ユニット21には主制御系22を介してウエハステージ39の位置情報も供給されており、露光制御ユニット21内の演算部では、光電検出器45の検出信号をウエハステージ39のX方向の位置に関して微分して得られた信号より、像36APのY方向の位置を算出する。同様に像36APを開口パターン43aでX方向に走査することによって、像36APのX方向の位置も算出され、像36APのX方向、Y方向の位置情報は主制御系22に供給される。

【0048】図1に戻り、レチクルステージ31上の評価マーク板33、ウエハステージ39側の照度むらセンサ42、及び空間像計測系46が、本発明の所定の照明特性(光学特性)を計測する特性計測系に対応している。次に、本例の照明光学系の所定の照明特性を最適化するための調整動作の一例につき説明する。本例では、その所定の照明特性の第1の組として、照明領域35、ひいては露光領域35Pでの露光光ILの照度分布のばらつき(以下、「照度むら」と呼ぶ)、及びレチクルRに対する露光光ILのテレセントリック性の崩れ量(以下、「照明テレセン」と呼ぶ)を選択する。これは、この2つの照明特性が投影光学系PLによる投影像、及びウエハW上のフォトレジストに対して最も大きな影響を与えるためである。

【0049】そして、その照度むらを露光領域35Pの非走査方向(X方向)の位置に関する1次成分(これを「傾斜成分」と呼ぶ)と、その位置に関する2次成分(これを「凹凸成分」と呼ぶ)とに分ける。即ち、照度



を位置Xの関数 $P F(X)$ とすると、照度 $P F(X)$ は以下のように近似でき、係数aが傾斜成分、係数bが凹凸成分となる。この際に、走査方向(Y方向)の照度むら成分は、走査露光によって平均化されるため、本例で

$$P F(X) = a \cdot X + b \cdot X^2 + \text{オフセット} \quad \cdots (1)$$

また、その照明テレセンを照明領域35(露光領域35P)内での露光光の平均的なX方向、及びY方向への傾斜角に対応する傾斜成分(シフト成分)c、dと、露光光の光軸に対して半径方向に対する平均的な傾斜角に対応する倍率成分eとに分ける。この場合、本例ではウエハステージ39のフォーカス位置を合焦位置に対して±δだけデフォーカスさせた位置に設定して、各フォーカス位置で多数の評価用マークの像の位置(ディストーション量)を空間像計測系46で計測し、フォーカス位置の変化量に対する評価用マークの像の平均的なシフト量から傾斜成分c、dを求め、それらの評価用マークの像の半径方向に対する平均的なシフト量から倍率成分eを求めることができる。

【0051】また、本例では図2を参照して説明したように、5個の駆動ユニット23、24、25X、25Y、25Tを介してそれぞれ第2フライアイレンズ9、第1レンズ系12、及び第2レンズ系13の状態を制御できるが、これらの制御によって以下のように上記の各照明特性をほぼ独立に制御することができる。

(a2) 第1駆動ユニット23による第2フライアイレンズ9の光軸方向の位置調整：照明テレセンの倍率成分e[mrad]、

(b2) 第2駆動ユニット24による第1レンズ系12の光軸方向の位置調整：照度むらの凹凸成分b[%]、

(c2) 第3駆動ユニット25Xによる第2レンズ系13のx方向の位置調整：照明テレセンのX方向の傾斜成分c[mrad]、

(c3) 第4駆動ユニット25Yによる第2レンズ系13のy方向の位置調整：照明テレセンのY方向の傾斜成分d[mrad]、

(d2) 第5駆動ユニット25Tによる第2レンズ系13のチルト角調整：照度むらの非走査方向の傾斜成分a[%]。

【0052】このように本例では、複数の駆動ユニット23～25Tの内の任意の一つの駆動ユニットによって対応する光学部材の状態を制御したときに、実質的にただ1種類の照明特性(光学特性)のみが変化して、他の照明特性は変化しないように状態を制御できる光学部材の組み合わせが最適化されている。これによって、照明特性の自動的な調整を簡単な制御で、かつ高精度に実行することができる。また、駆動ユニットの個数を5個とすることで、基本的な全部の照明特性を自動的に制御することができる。但し、制御対象の照明特性を例えば照明テレセンのみとするような場合には、駆動ユニットの個数を3個とするなど、制御対象の照明特性に応じて駆

は特に評価対象とはしていない。その凹凸成分は光軸に関して対称な成分(軸対称成分)でもある。

【0050】

動ユニットの個数及び配置は変化する。

【0053】なお、実際には5個の駆動ユニット間で僅かに他の照明特性に対して影響を与える恐れもあるため、他の照明特性に対する影響も考慮することが望ましい。このため、先ず図8のフローチャートに示すように、5個の駆動ユニット23、24、25X、25Y、25Tを単位量駆動したときに対応する照明特性をどれだけ変化させることができるかを示す駆動レートを求める。

【0054】即ち、図8のステップ101において、図1の開口絞り板10を制御して照明条件を通常照明、変形照明(輪帯照明、若しくは4極照明)、又は小σ値照明の何れかに設定する。次のステップ102において、5個の駆動ユニット23～25T中のi番目(i=1～5)の駆動ユニットを選択する。ここでは第1レンズ系12に対応する2番目の駆動ユニット24を選択したものととする。次のステップ103において、その駆動ユニット24の駆動量d2を駆動可能範囲の中央(d2=0)に設定して、第1レンズ系12を設計上の位置である光学原点に設定した状態で、照度むら、及び照明テレセンの計測を行う。

【0055】その照度むらの計測を行うために、図1においてレチクルステージ31上にレチクルRの代わりにパターンの形成されていないガラス基板を設置して、照明領域35に露光光ILを照射して、露光領域35Pを照度むらセンサ42の受光部で非走査方向(X方向)に走査して、照度むらセンサ42の検出信号S2を露光制御ユニット21に取り込む。なお、そのガラス基板の代わりに、レチクルRの内のパターンの形成されていない領域、又は評価マーク板33中の評価用マークの形成されていない領域を使用してもよい。

【0056】図4(a)は露光領域35Pを照度むらセンサ42の受光部42aでX方向に走査する状態を示し、図4(b)の曲線51Aは、そのときに照度むらセンサ42(ウエハステージ39)のX方向の位置に対応させてプロットした検出信号S2を示している。本例の露光制御ユニット21内の演算部は、曲線51Aを

(1)式の右辺に対して最小自乗法で近似することによって、照度むらの傾斜成分aの値a1、及び凹凸成分bの値b1を算出する。この際のX方向の原点は投影光学系PLの光軸AXとする。曲線51Aを点線で示すように1次の直線52A及び2次曲線53Aに分けた場合、直線52Aの傾きがa1となり、2次曲線53AのX<sup>2</sup>の係数がb1となる。

【0057】次に、照明テレセンを計測するために、図



1において、レチクルステージ31を駆動して照明領域35の中心に評価マーク板33の中心を移動して、ウエハステージ39を駆動して露光領域35Pの近傍に空間像計測系46の走査板43を移動する。そして、ウエハステージ39内のZレベリング機構を駆動して、走査板43のフォーカス位置を投影光学系PLに対する像面(ベストフォーカス位置)から $+\delta$ だけ( $\delta$ は所定の解像度が得られる範囲内で予め設定されている)高く設定し、露光光ILの照射を開始して、図5(a)に示すように評価マーク板33の評価用マーク36A~36Mの像36AP~36MPをウエハステージ39上に投影する。この状態で、図3(b)を参照して説明したように、走査板43の開口パターン43aでそれらの像36AP~36MPをX方向、Y方向に走査して、得られる検出信号S3を露光制御ユニット21内の演算部で処理することによって、それらの像36AP~36MPのX方向、Y方向の位置を算出し、算出結果を主制御系22に供給する。この場合の原点は、例えば中央の評価用マーク36Gの像36GPの中心である。

【0058】なお、ウエハステージ39の移動に応じて可動ブラインド14Bを駆動し、上記検出動作中に照明領域35の一部のみ、例えば空間像計測系46にてその像を検出すべき評価用マークのみに露光光ILを照射することが望ましい。このように走査板43を $+\delta$ だけデフォーカスさせて計測された評価用マーク36A~36Mの像を図5(a)の点線の格子上的像54A~54Mとする。なお、説明の便宜上、点線の格子は矩形に描かれているが、実際にはディストーションによって或る程度は歪んでいることがある。

【0059】次に、走査板43のフォーカス位置をベストフォーカス位置から $-\delta$ だけ低く設定し、同様に空間像計測系46を用いて評価用マーク36A、36B、…36Mの像36AP~36MPのX方向、Y方向の位置を求めて、主制御系22に供給する。図5(a)には、この場合の像36AP~36MP、及び先に計測した像54A~54Mが表示されている。主制御系22では、図5(a)に示すように、フォーカス位置を $+\delta$ だけデフォーカスさせた場合の像54A~54Mに対して、フォーカス位置を $-\delta$ だけデフォーカスさせた場合の像3

$$k_{a2} = [(a_2 - a_1) / d_{2_{\max}} - (a_3 - a_1) / (2 \cdot d_{2_{\max}})] / 2 \dots (2)$$

【0063】同様にして、照度むらの凹凸成分b、照明テレセンの傾斜成分c、d、及び照明テレセンの倍率成分eに対する駆動レート $k_{b2}$  [%/mm]、 $k_{c2}$  [mrad/mm]、 $k_{d2}$  [mrad/mm]、 $k_{e2}$  [mrad/mm]も算出されて、主制御系22内の記憶部に記憶される。この際に、支配的な値は照度むらの凹凸成分bに対する駆動レート $k_{b2}$ のみであるが、その他の値でも所定レベルを超えているものについてはそのまま記憶し、所定レベル内の値については0として記憶してもよい。

6AP~36MPのX方向、Y方向への2次元的な位置ずれ量をベクトル $\langle VA \rangle \sim \langle VM \rangle$ として求める。また、これらのベクトルの単純な平均値 $\langle V1 \rangle (= (c_1, d_1))$ 、及び原点に対して半径方向(R方向)への成分の平均値 $\langle V2 \rangle (= e_1)$ が図5(b)、

(c)に示すように算出される。平均値 $(c_1, d_1)$ が照明テレセンの傾斜成分、平均値 $e_1$ が照明テレセンの倍率成分である。

【0060】次に、ステップ104において、その駆動ユニット24の駆動量d2を駆動可能範囲の+側の端部( $d_2 = d_{2_{\max}}$ )に設定した状態で、照度むら、及び照明テレセンの計測を行う。これによって、図4(c)に示すように、照度むらセンサ42の検出信号S2の曲線51Bが得られ、この曲線51Bを1次の直線52B及び2次曲線53Bに分けることで、照度むらの傾斜成分a2、及び凹凸成分b2が得られる。また、図5

(d)の評価用マーク36A~36Mの像36AP~36MPの位置ずれのベクトル $\langle VA \rangle \sim \langle VM \rangle$ から、図5(e)、(f)に示すように、照明テレセンの傾斜成分 $(c_2, d_2)$ 、及び照明テレセンの倍率成分 $e_2$ が得られる。

【0061】次に、ステップ105において、その駆動ユニット24の駆動量d2を駆動可能範囲の-側の端部( $d_2 = -d_{2_{\max}}$ )に設定した状態で、照度むら、及び照明テレセンの計測を行う。これによって同様に、照度むらの傾斜成分a3、凹凸成分b3、及び照明テレセンの傾斜成分 $(c_3, d_3)$ 、倍率成分 $e_3$ が得られる。なお、更に高精度に駆動レートを算出したい場合には、駆動ユニット24の駆動量を4箇所以上に設定して、照度むら及び照明テレセンを計測することが望ましい。

【0062】その後のステップ106において、上記の計測値を用いて駆動ユニット24(第1レンズ系12)の駆動レートを算出する。一例として、駆動量d2を0、 $d_{2_{\max}}$ 、 $-d_{2_{\max}}$ に設定したときの照度むらの傾斜成分aは、それぞれa1、a2、a3であるため、傾斜成分aに対する駆動レート $k_{a2}$  [%/mm]は次のようになる。

【0064】具体的に第1レンズ系12を駆動する場合には、凹凸成分bと同じく中心対称(軸対称)の特性を有する照明テレセンの倍率成分eに対する駆動レート $k_{e2}$ が所定レベルを超える可能性がある。このようにして全ての駆動ユニット23~25Tについてステップ102~106の動作を実行して、駆動レート $k_{ai}$ 、 $k_{bi}$ 、 $k_{ci}$ 、 $k_{di}$ 、 $k_{ei}$  ( $i=1\sim5$ )を算出して主制御系22内に照明条件毎のパラメータとして記憶する。その後、ステップ107からステップ108に移行して、必要な全ての照明条件について駆動レートを算

出したかどうかを判定し、終了していない場合には、ステップ101に戻って照明条件を切り換えて駆動レートを算出する。なお、ここでは全ての照明条件について駆動レートを算出するものとしたが、本例はこれに限定されるものではなく、例えば全ての照明条件の一部のみについて駆動レートを算出し、残りの照明条件については他の照明条件の駆動レートに基づき、補間計算などによって駆動レートを決定するようにしてもよい。

【0065】この際に、第2駆動ユニット24（第1レンズ系12）の場合、中心非対称な成分に関する駆動レート $k_{a2}$ 、 $k_{c2}$ 、 $k_{d2}$ は本来は無視できる程度の量である。これらの駆動レートが或る値以上に大きい場合は、第1レンズ系12が偏心していたり、傾いていた可能性があるため、この段階でこれらの不具合を検知することができ、これに基づいて調整を行うことができる。

【0066】次に、上記のようにして求めた駆動レートを用いて、照明光学系の調整を自動的に行うシーケンスの一例につき図9のフローチャートを参照して説明する。まず、図9のステップ111において、図1の開口絞り板10を介して照明条件を選択し、全部の駆動ユニット23、24、25X～25Tの駆動量を中立位置に設定し、対応する光学部材を光学原点に設定する。次のステップ112において、図8のステップ103と同様に照度むら及び照明テレセンを計測する。そして、ステップ113において、図4、図5に示した手順で、照度むらの傾斜成分（1次成分） $a$ 、凹凸成分（2次成分） $b$ を算出し、照明テレセンの傾斜成分（シフト成分） $c$ 、 $d$ 、及び倍率成分 $e$ を算出する。次のステップ114において照度むら $a$ 、 $b$ 及び照明テレセン $c$ 、 $d$ 、 $e$ がそれぞれ許容範囲内かどうかを判定し、何れかが許容範囲から外れている場合にはステップ115に移行して、主制御系22内に記憶してある駆動レート $k_{ai}$ 、 $k_{bi}$ 、 $k_{ci}$ 、 $k_{di}$ 、 $k_{ei}$ （ $i=1\sim5$ ）を用いて、照度むら $a$ 、 $b$ 及び照明テレセン $c$ 、 $d$ 、 $e$ をそれぞれ計算上で0にするための5個の駆動ユニット23～25Tの駆動量 $d_i$ （ $i=1\sim5$ ）を算出する。この場合には、以下の連立方程式を解けばよい。

$$\begin{aligned} \text{【0067】} & -a = k_{a1} d_1 + k_{a2} d_2 + k_{a3} d_3 + k_{a4} d_4 + k_{a5} d_5 \\ & -b = k_{b1} d_1 + k_{b2} d_2 + k_{b3} d_3 + k_{b4} d_4 + k_{b5} d_5 \\ & -c = k_{c1} d_1 + k_{c2} d_2 + k_{c3} d_3 + k_{c4} d_4 + k_{c5} d_5 \\ & -d = k_{d1} d_1 + k_{d2} d_2 + k_{d3} d_3 + k_{d4} d_4 + k_{d5} d_5 \\ & -e = k_{e1} d_1 + k_{e2} d_2 + k_{e3} d_3 + k_{e4} d_4 + k_{e5} d_5 \end{aligned}$$

但し、実際には、これらの駆動レート中で0でないものは各行で1個、又は2個程度であるため、この連立方程

式は極めて容易に解くことができる。算出された駆動量 $d_i$ （ $i=1\sim5$ ）も、複数の照明条件のそれぞれに対応させてパラメータとして主制御系22内の記憶部に保存される。

【0068】具体的に、駆動ユニット24と駆動ユニット23とが共に照度むらの凹凸成分 $b$ と照明テレセンの倍率成分 $e$ に影響を及ぼし、駆動ユニット25Tと駆動ユニット25Xとが共に照度むらの傾斜成分 $a$ と照明テレセンの傾斜成分 $c$ に影響を及ぼし、駆動ユニット25Yのみが照明テレセンの傾斜成分 $d$ に影響を及ぼすという関係があると考えられる。

【0069】次に、ステップ116に移行して、5個の駆動ユニット23～25Tをそれぞれ算出された駆動量 $d_i$ （ $i=1\sim5$ ）だけ駆動する。その後、ステップ112、113に移行して、照度むら $a$ 、 $b$ 及び照明テレセン $c$ 、 $d$ 、 $e$ を再計測し、ステップ114において、それらの値が全部許容範囲内に収まらない場合には、再びステップ115に移行して計算を実行し、それらの値が全部許容範囲内に収まった場合には自動調整を終了する。そして、次に同じ照明条件が設定された場合には、記憶されている駆動量 $d_i$ に基づいて駆動ユニット23～25Tを駆動するのみで、極めて短時間に照明光学系の調整が完了する。

【0070】このように、本例では照明特性を自動的に計測できるため、図8の駆動レートの計測シーケンス及び図9の照明光学系の自動調整シーケンスは、全てアシストレスで行うことができる。次に、本例の照明光学系で図6（a）に示すように、第2フライアイレンズ9の射出面に輪帯照明の開口絞り10b（又は4極照明の開口絞り10c）を設置して変形照明を行う場合の調整方法の一例につき説明する。

【0071】この場合には、図1の第1フライアイレンズ6の代わりに回折光学素子（DOE）よりなる光量分布変換素子55が設置される。なお、回折光学素子の代わりに円錐プリズム（アキシコン、輪帯照明用）、又は四角錐型（ピラミッド型）のプリズム（4極照明用）等のプリズムを使用してもよい。そして、使用される開口絞りが開口絞り10b又は10cの何れかに応じて第2フライアイレンズ9に対する露光光ILの照射領域を調整するために、第1レンズ系7Aを駆動ユニット62によって光軸に垂直な方向に駆動でき、かつ第2レンズ系7Bを駆動ユニット58によって光軸方向に駆動できるようにしておく。なお、レンズ系7A、7Bよりなる集光光学系（ビーム成形光学系）の代わりに、ズーム光学系、収差を連続的に変化させるような光学系、又はシリンドリカルレンズを回転させてビーム断面を歪ませるような光学系を使用しても良い。

【0072】図6（a）の光学系の場合、第2フライアイレンズ9を局所的に照明する際の照明領域によって、照度むらが急激に変化することが本発明者によって確か

められている。具体的にその照度むらの変化要因は以下の要因に分けられる。

1) 局所照明エリアが小さい場合、開口絞りを通過する光量が多いので像面照度は上昇するが、第2フライアイレンズ9の有効なエレメントのうち幾つかは中途半端に照明され、これが照度むらに悪影響を及ぼす。

【0073】2) 局所照明エリアが大きい場合、照度むらは劣化しないが、当然開口絞り10b, 10cに遮られる光量が多くなり、像面照度は低下する。

3) 局所照明エリアが偏心している場合、像面上の照明むらも左右どちらかが低くなる傾向(傾斜成分)がある。これは第2フライアイレンズ9の各エレメントが有限の大きさを有していることに起因している。よって、本例では光量分布変換素子55を用いて変形照明を行う場合は、図10に示すように特別の調整シーケンスを用意している。

【0074】そこで、図10のステップ121において、図1の状態、即ち通常照明に設定して、図8の駆動レート計測、及び図9の自動調整シーケンスを実行する。次のステップ122において、図6(a)に示すように、第1フライアイレンズ6を光量分布変換素子55に変更し、第2フライアイレンズ9の射出面の開口絞りを変形照明用の開口絞り10b又は10cに設定する。次のステップ123において、図1の照度むらセンサ42を用いて照度むらを計測し、図4に示したようにその傾斜成分a及び凹凸成分bを算出する。この際に、照度分布の非走査方向の両側に極端な傾斜の照度むらが発生して、傾斜成分aが許容範囲を超えた場合には、前述のように局所照明エリアが偏心している可能性がある。この場合には、その傾斜成分aが許容範囲内に収まるように、第1レンズ系7Aを光軸に垂直な面内でX方向、Y方向に対応する方向にシフトさせる。

【0075】そして、この状態で照度むらの凹凸成分bを評価対象とする。即ち、ステップ124に移行して、凹凸成分bが許容範囲内かどうかを判定し、許容範囲外であるときにはステップ125に移行して、第2レンズ系7Bを光軸方向に所定ステップ量だけシフトさせてからステップ123に戻って、再び照度むらの凹凸成分bを計測し、それが許容範囲内かどうかを判定する。この補正動作は、ステップ124で凹凸成分bが許容範囲内に収まるまで実行される。

【0076】ステップ124で凹凸成分bが許容範囲内に収まった後、ステップ126に移行して、図6(a)のビーム成形系5のレンズ系4Bを光軸方向に所定量ずつ次第に変化させて(走査して)、レンズ系4Bの各位置(位置u)で図1の照度むらセンサ42をパターン像の無い露光領域35Pで非走査方向に走査して、検出信号S2のデータ列を露光制御ユニット21に取り込むと共に、インテグレートセンサ20の検出信号S1も露光制御ユニット21に取り込む。

【0077】次のステップ127において、レンズ系4Bの各位置uにおいて、検出信号S2(照度)の最大値と最小値との差分 $\Delta IP$ を照度むらとして求め、インテグレートセンサ20の検出信号S1より像面での照度の大きさ(平均値)IPを間接的に求める。そして、露光制御ユニット21内の演算部は、レンズ系4Bの各位置uに対して照度むら $\Delta IP$ の逆数( $1/\Delta IP$ )、及び像面照度IPを対応付ける。分かり易いように、位置uに対して像面照度IP及び照度むらの逆数( $1/\Delta IP$ )をプロットした図が図7である。

【0078】図7において、横軸はレンズ系4Bの位置u、縦軸は像面照度IP、及び照度むら $\Delta IP$ の逆数( $1/\Delta IP$ )である。そして、曲線59が像面照度IP、曲線60が照度むらの逆数( $1/\Delta IP$ )を表している。この場合、像面照度IPが大きくなると、照度むらの逆数( $1/\Delta IP$ )が小さくなって照度むらが大きくなることから、像面照度と照度むらとがトレードオフの関係であることが分かる。そこで、本例では像面照度が許容値TL1(位置u2)以上となり、照度むらの逆数が許容値TL2(位置u1)以上となる位置uの範囲61( $u1 \leq u \leq u2$ )を、レンズ系4Bの設定可能範囲として求めて主制御系22に供給する。

【0079】次のステップ128において、図1の主制御系22は駆動系26を介して図6(a)のレンズ系4Bの位置uを設定可能範囲61内に設定する。これによって、高い像面照度が得られて露光工程のスループットを向上できると共に、照度むらが小さくなって、高い結像精度が得られる。また、像面上で微細なランダムな照度むらが計測される場合は、変形照明用の光学素子を光軸方向にシフトさせれば、ランダムな照度むらを解消させることができる場合がある。以上のように、照明光学系の任意の光学部材を駆動させることにより、各種の照明光学系の特性が変化するが、これらを設計段階で選択し、最適な駆動ユニットを自動調整シーケンスに組み込むことにより、より照度むら及び照明テレセンの追い込み精度を向上させることができる。

【0080】なお、上記の実施の形態では、照度むらとテレセントリシティとの両方を計測(検出)するものとしたが、どちらか一方を計測するのみでもよい。更に、テレセントリシティではその傾斜成分をX方向とY方向とに分けて計測したが、どちらか一方のみでもよいことがある。また、上記の実施の形態では走査露光方式の露光装置で非走査方向の照度むらを検出するものとしたが、静止露光方式の露光装置ではX方向及びY方向でそれぞれ照度むらを検出してその補正を行うことが好ましい。

【0081】更に、上記の各実施形態では照明特性(照明テレセンと照度むらとの少なくとも一方)の計測時にその調整を行うものとしたが、その計測時以外に照明特性の調整を行ってもよい。例えば、照明特性の変化を計

算（シミュレーションなど）し、この計算結果に基づいて照明特性を逐次調整してもよい。また、定期的に照明特性を計測してその調整を行うと共に、その定期的な計測の間は上記計算にて照明特性の調整を行うようにしてもよい。更に、照度むらについては照明条件、即ち照明光学系の瞳面上での露光光 I L の強度分布（特にその形状）の変更時に照度むらの傾斜成分と中心対称成分（凹凸成分）との両方を調整し、次に照明条件を変更するまでは凹凸成分のみを調整するだけでもよい。

【0082】また、図6（a）では変形照明時に第1フライアイレンズ6との交換で光量分布変換素子55を露光光の光路中に配置するものとしたが、例えば露光光源1とオプティカル・インテグレータ（本例では第1フライアイレンズ6）との間にその光量分布変換素子55を配置するようにしてもよい。このとき、照明条件の変更に応じてその光量分布変換素子55を、異なる光量分布を生成する別の素子に交換するようにしてもよい。また、図6（a）の構成例においても、輪帯照明と4極照明とで、光量分布変換素子55を交換するようにしてもよい。

【0083】更に、図1の照明条件切り換え系は、開口絞り板10と、オプティカル・インテグレータ（第1フライアイレンズ6）及び光量分布変換素子（回折光学素子55）の交換を行う交換装置56との両方を含むものとしたが、その照明条件切り換え系は、開口絞り板10のみ、或いは交換装置56のみを含むものでもよいし、交換装置56は前述した複数の光量分布変換素子の交換のみを行うだけでもよい。更に、開口絞り板10及び交換装置56の少なくとも一方と組み合わせ、或いは開口絞り板10及び交換装置56の代わりに、例えばズーム光学系と、照明光学系の光軸方向に相対移動可能な一對のプリズム（円錐プリズム（アキシコン）、又は四角錐プリズムなど）との少なくとも一方を、露光光源1とオプティカル・インテグレータ（第2フライアイレンズ9）との間に配置してもよい。

【0084】なお、上記の実施の形態では、オプティカル・インテグレータとしてフライアイレンズ6、9が使用されているが、オプティカル・インテグレータとして内面反射型インテグレータ（ロッドインテグレータ）を使用する場合も本発明が適用できることは明らかなである。更に、上記の実施の形態では2段のフライアイレンズ6、9を用いるいわゆるダブル・フライアイ方式の照明光学系 I L S が使用されているが、1段のオプティカル・インテグレータ（フライアイレンズ、ロッドインテグレータ等）のみを用いる照明光学系の調整を行う場合にも本発明を適用することができる。更に、変形照明だけでなく、通常照明や小σ値の照明などでも、前述の回折光学素子（DOE）をオプティカル・インテグレータとして用いてもよい。勿論この場合、複数の回折光学素子を用意して照明条件に応じてその交換を行うことが望

ましい。

【0085】なお、オプティカル・インテグレータ（9）として、例えば入射面が照明光学系の瞳面に配置され、かつ射出面がレチクルRのパターン面と共役配置される内面反射型インテグレータを用い、かつ露光光源1とオプティカル・インテグレータ（9）との間に、前述した複数の光量分布変換素子（回折光学素子）、ズーム光学系、及び一對のプリズムの少なくとも1つを含む光学ユニットを配置する場合、照明条件の変更時に、その内面反射型インテグレータに入射する露光光 I L の入射角度範囲が変更されることになる。また、オプティカル・インテグレータ（9）としてフライアイレンズを用いるときはその射出面側に複数の光源像からなる面光源、即ち2次光源が形成され、内面反射型インテグレータを用いるときはその入射面側に複数の虚像からなる2次光源が形成される。従って、上記各実施形態における照明条件の変更とは、照明光学系の瞳面上での露光光 I L の強度分布を変更すること、及び照明光学系の瞳面上に形成される2次光源の大きさ及び形状の少なくとも一方を変更することと等価である。

【0086】また、上記の実施の形態は、本発明を走査露光方式の投影露光装置に適用したものであるが、本発明はステップ・アンド・リピート方式（一括露光方式）の投影露光装置（ステッパー）、及び投影系を用いないプロキシミティ方式等の露光装置にも適用することができる。また、露光光（露光ビーム）は上記の紫外光に限られるものではなく、例えばレーザプラズマ光源又はS O R（Synchrotron Orbital Radiation）リングから発生する軟X線領域（波長5～50nm）のEUV光を用いてもよい。EUV露光装置では、照明光学系及び投影光学系はそれぞれ複数の反射光学素子のみから構成される。

【0087】そして、図1のウエハWより半導体デバイスが製造できる。その半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、このステップに基づいたレチクルを製造するステップ、シリコン材料からウエハを制作するステップ、前述した実施の形態の投影露光装置によりレチクルのパターンをウエハに露光するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

【0088】なお、露光装置の用途としては半導体素子製造用の露光装置に限定されなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子（CCD等）、マイクロマシン、薄膜磁気ヘッド、又はDNAチップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク（フォトリソグフィ工程）をフォトリソグフィ工程

を用いて製造する際の、露光工程（露光装置）にも適用することができる。

【0089】なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0090】

【発明の効果】本発明によれば、露光装置の照明系（照明光学系）の調整を短時間に正確に行うことができる。また、照明系の照明特性を計測する特性計測系を備えた場合には、複数の照明条件を有する照明系の調整を自動的に行うことができる。また、照明特性として露光ビームのテレセントリック性の崩れ量（照明系のテレセントリシティ）の傾斜成分と倍率成分とを分けて計測する場合には、両者を独立に調整することによって調整を短時間に正確に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態の一例の投影露光装置を示す一部を切り欠いた正面図である。

【図2】 図1の第2フライアイレンズ9から第2レンズ系13までの光学系及び照明領域35を示す斜視図である。

【図3】 (a)はレチクルステージ31及び評価マーク板33を示す平面図、(b)は評価用マークの像36APの検出方法の説明に供する拡大平面図である。

【図4】 照度むらの傾斜成分及び凹凸成分の計測方法の説明図である。

【図5】 照明テレセンの傾斜成分及び倍率成分の計測方法の説明図である。

【図6】 (a)は図1の照明光学系ILSにおいて変形照明を行う場合の要部を示す一部を切り欠いた図、

(b)は図6(a)の開口絞り板10を示す正面図である。

【図7】 変形照明を行う場合の照度の大きさと照度むらとの関係の一例を示す図である。

【図8】 照明光学系中の全部の駆動ユニットの駆動レートの計測シーケンスの一例を示すフローチャートである。

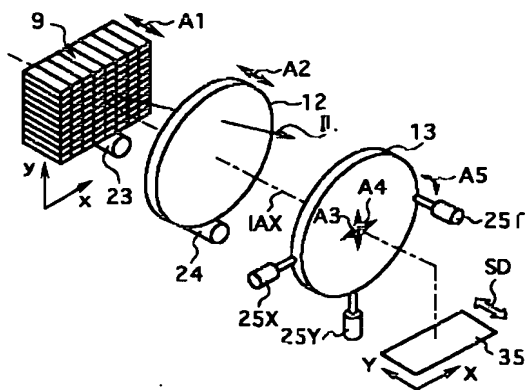
【図9】 照明光学系の自動調整シーケンスの一例を示すフローチャートである。

【図10】 変形照明用の調整シーケンスの一例を示すフローチャートである。

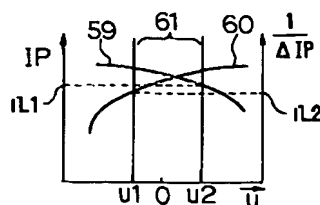
【符号の説明】

1…露光光源、5…ビーム成形系、6…第1フライアイレンズ、9…第2フライアイレンズ、10…開口絞り板、12…第1レンズ系、13…第2レンズ系、14A…固定ブラインド、R…レチクル、PL…投影光学系、W…ウエハ、20…インテグレートセンサ、21…露光制御ユニット、22…主制御系、23、24、25X、25Y、25T…駆動ユニット、26…駆動系、31…レチクルステージ、33…評価マーク板、36A～36M…評価用マーク、42…照度むらセンサ、46…空間像計測系、55…光量分布変換素子

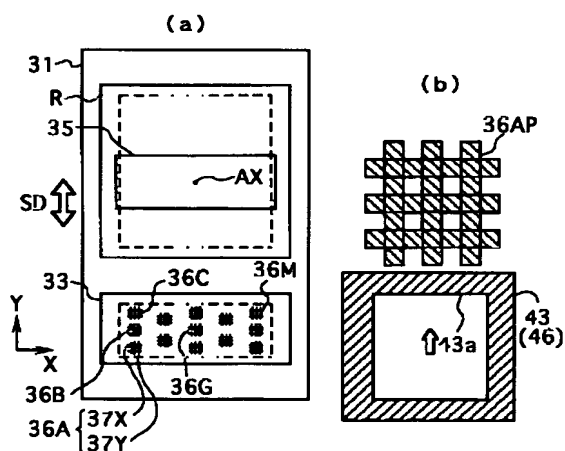
【図2】



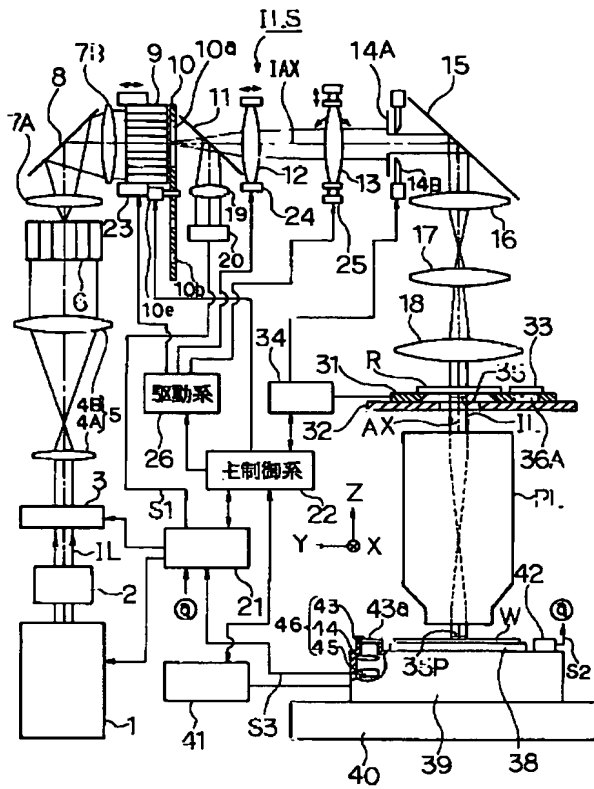
【図7】



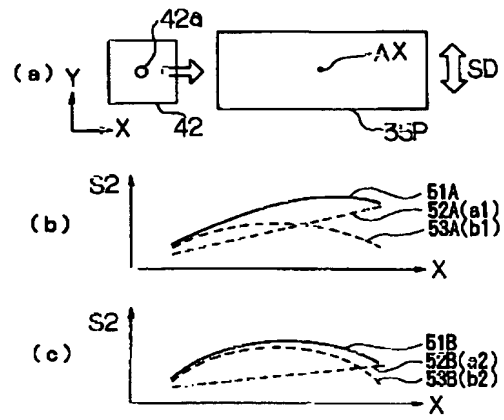
【図3】



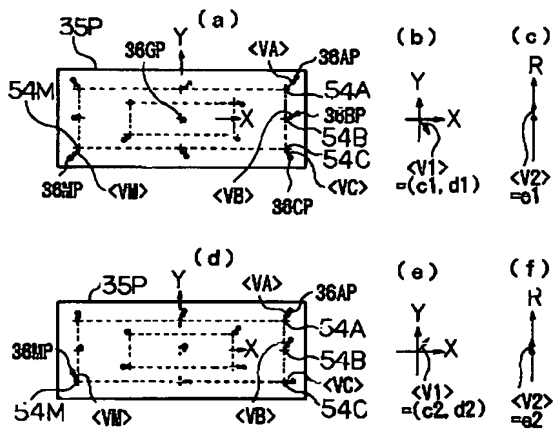
【図1】



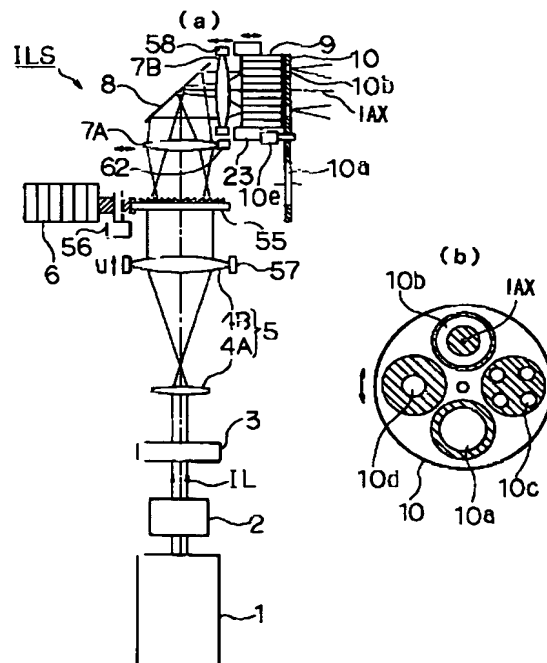
【図4】



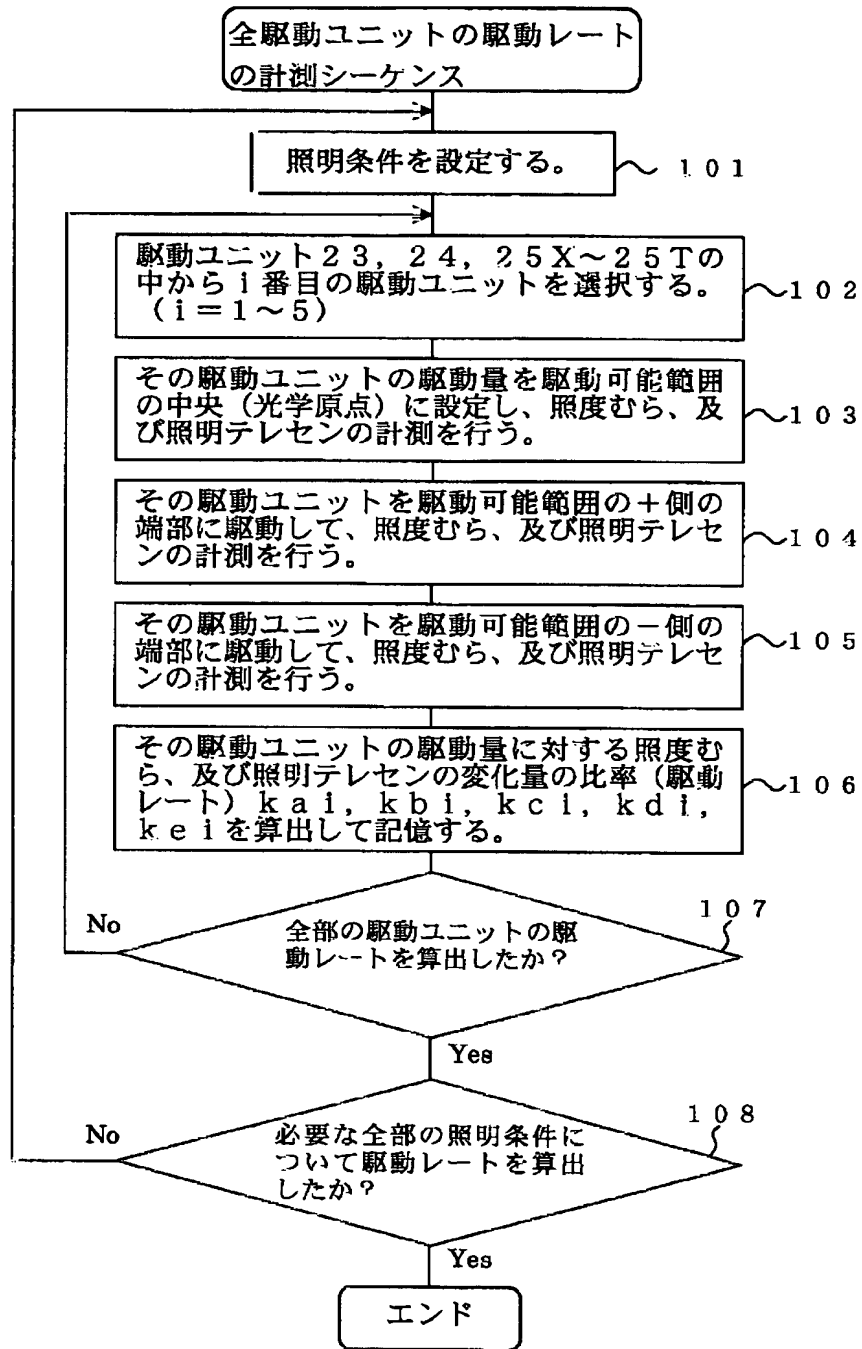
【図5】



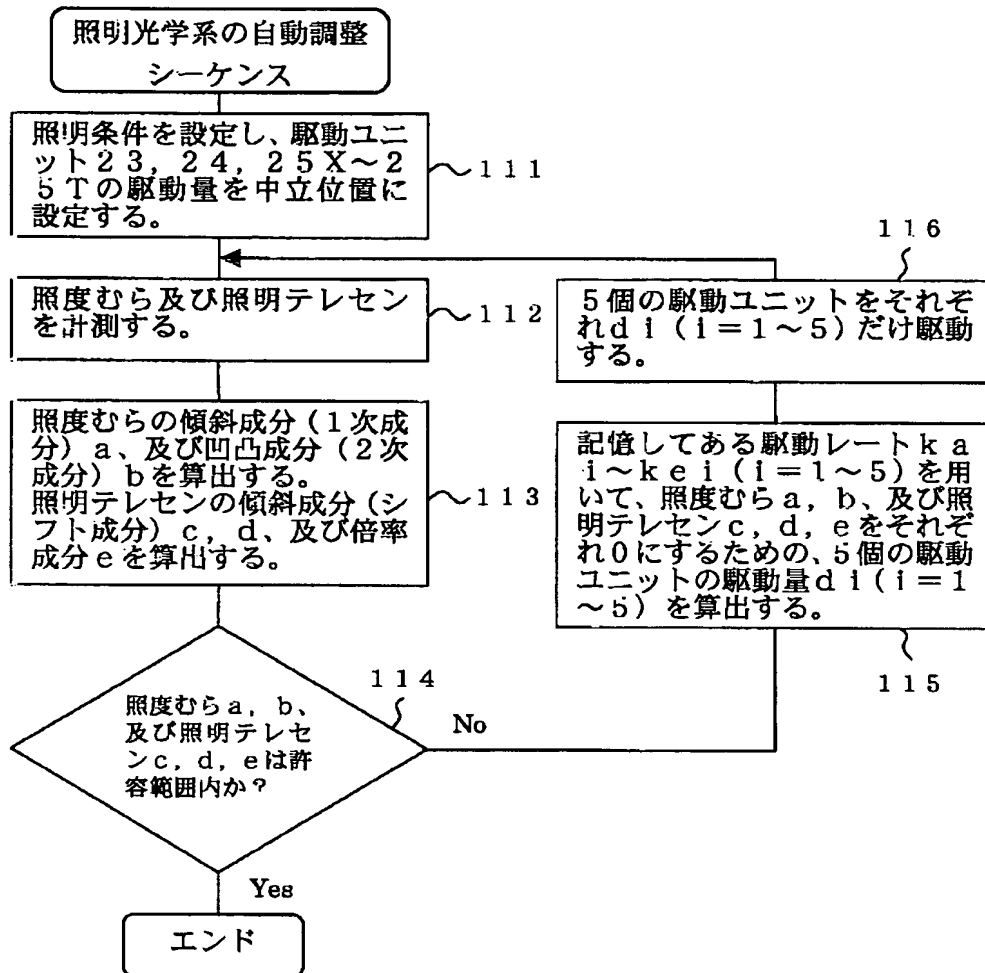
【図6】



【図8】



【図9】





【図10】

